

Klimawandel und Klimapolitik

Informationen für Lehrpersonen



Schulstufe

Sekundarstufe II

Autoren

Matthias Probst, Moritz Gubler

Jahr

2019

Einführung und Konzept

Die Folgen des aktuellen und zukünftigen Klimawandels stellen Gesellschaft, Wirtschaft und Politik auf lokaler bis globaler Ebene vor die vielleicht grösste **Herausforderung des 21. Jahrhunderts**. Klimawandel und Klimapolitik sind sehr komplexe Themen, die in den Medien und in der Gesellschaft breit und meistens auch kontrovers diskutiert werden. Das Verständnis von Prozessen, Zusammenhängen und Wechselwirkungen im Klimasystem sowie möglicher Handlungsoptionen bildet die Grundlage, um als Individuum und Gesellschaft dem anthropogenen Klimawandel entgegenzutreten und eine klimaverträgliche Zukunft zu gestalten.

Die vorliegende Lerngelegenheit zu «**Klimawandel und Klimapolitik**» für die **Sekundarstufe II** umfasst ein stufengerechtes, praxisnahe, wissenschafts- und kompetenzorientiertes Bildungsangebot, das helfen soll, solide Kenntnisse aufzubauen und vorhandene Vorstellungen zu differenzieren und erweitern. Bei der Entwicklung dieser Lerngelegenheit wurde grosser Wert auf den Einbezug aktueller klimawissenschaftlicher sowie geografiedidaktischer Forschungskenntnisse gelegt.

Die vorliegende Lerngelegenheit für die Sekundarstufe II wurde im Rahmen des Projekts **Climate Change Education and Science Outreach (CCESO)** im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt entwickelt (vgl. Link bei Abb. 1), vom Verein GLOBE Schweiz koordiniert und von der Pädagogischen Hochschule Bern mitfinanziert. Im Rahmen des Projektes CCESO wurde ein Bildungskonzept zu Klimawandel und Klimapolitik übergreifend für alle Schulstufen entwickelt, d.h. für die Primarstufe, Sekundarstufe I und Sekundarstufe II (Reinfried, Probst, Adamina, Hertig, und Stucki, 2018). Die Lerngelegenheiten für jede Bildungsstufe weisen demnach den gleichen konzeptionellen Aufbau auf (Abb. 1).

AUSGANGSPUNKT, PROBLEMSTELLUNG			
Klimasystem	Ursachen des Klimawandels	bisherige und zukünftige Folgen des Klimawandels	Klimapolitik und nachhaltige Entwicklung
<ul style="list-style-type: none"> – Phänomenbezug im Lebensraum der Lernenden – Aktivierung von Vorwissen der Lernenden – entdeckendes, ko-konstruktives, dialogisches Lernen 			
SYNTHESE			
<ul style="list-style-type: none"> – Erkenntnisse zum Klimasystem und zu Handlungsmöglichkeiten auf lokaler bis globaler Ebene 			

Abb. 1: Konzeptioneller Aufbau der Lerngelegenheiten (Probst et al., 2018, S. 67)

(https://www.globe-swiss.ch/de/Angebote/Wetter_und_Klima/#rubric=education&levels=cyclus1-cyclus2-cyclus3)

Das Lernmaterial für die Sekundarstufe II wurde zwischen 2018 – 2019 von Matthias Probst und Moritz Gubler entwickelt. Getestet wurde das Lernmaterial von den gymnasialen Geografielehrpersonen Heiner Aebischer, Fabian Piller sowie von den beiden Autoren in ihrem Unterricht.

Anregungen und Hinweise zur Umsetzung im Unterricht

Die Lerngelegenheit zu «Klimawandel und Klimapolitik» der Sekundarstufe II besteht aus dem Ausgangspunkt, den vier Themenbereichen Klimasystem, Ursachen, Folgen und Klimapolitik sowie der Synthese (Abb. 1).

Bei **1 Ausgangspunkt und Problemstellung** werden Schülervorstellungen zu Ursachen und Folgen des Klimawandels sowie zu klimapolitischen Massnahmen ausgehend von Beobachtungen klimabezogener Veränderungen im eigenen Lebensraum aktiviert und bewusst gemacht. Diese Vorstellungen sind Ausgangs- und Bezugspunkt (in Abb. 2 mit Pfeilen verdeutlicht) für die Auseinandersetzungen in den Themenbereichen **2 Klimasystem, 3 Ursachen des Klimawandels, 4 Folgen des Klimawandels** und **5 Klimapolitik**. Ziel ist es, während der Bearbeitung der Themenbereiche stets das Vorwissen der Lernenden dem Fachwissen gegenüberzustellen, um so die Schülervorstellungen zu Klimawandel und Klimapolitik explizit zu differenzieren und erweitern. Die Themenbereiche sind aus ein bis drei Sequenzen aufgebaut. Die Lerngelegenheit umfasst zusammen mit dem Ausgangspunkt 11 Sequenzen.

Da sich klimabezogene Beobachtungen von Veränderungen im eigenen Lebensraum erfahrungsgemäss primär auf das Klimasystem und die Folgen des Klimawandels beziehen, kann im Unterrichtsablauf auch die Abfolge der **Themenbereiche** mit 1, 2, 4, 3, 5, 6 angepasst werden. Grundsätzlich sind die Themenbereiche so aufgebaut, dass sie sich einzeln und in unabhängiger Reihenfolge bearbeiten lassen. Beim Themenbereich **6 Synthese** wird das Gelernte am Beispiel «Stadt – ein Brennpunkt des Klimawandels» im eigenen Lebensraum angewendet und weiterentwickelt. Die **Online-Bibliothek - wissenschaftliche Fachliteratur** dient für die Bearbeitung der Lernaufgaben und für die Recherche zu weiterführenden Fragen der Schüler- und Schülerinnen. Damit soll den Lernenden auch bewusst werden, dass fundierte wissenschaftliche Publikationen zum Thema Klimawandel (aber auch zu anderen Themen) im Internet ähnlich einer Bibliothek zugänglich sind und für die Bearbeitung von Lernaufgaben und Klärung eigener Fragen beigezogen werden können. Es empfiehlt sich, vor der ersten Benutzung eine kurze Einführung zu den verschiedenen Publikationen zu geben.

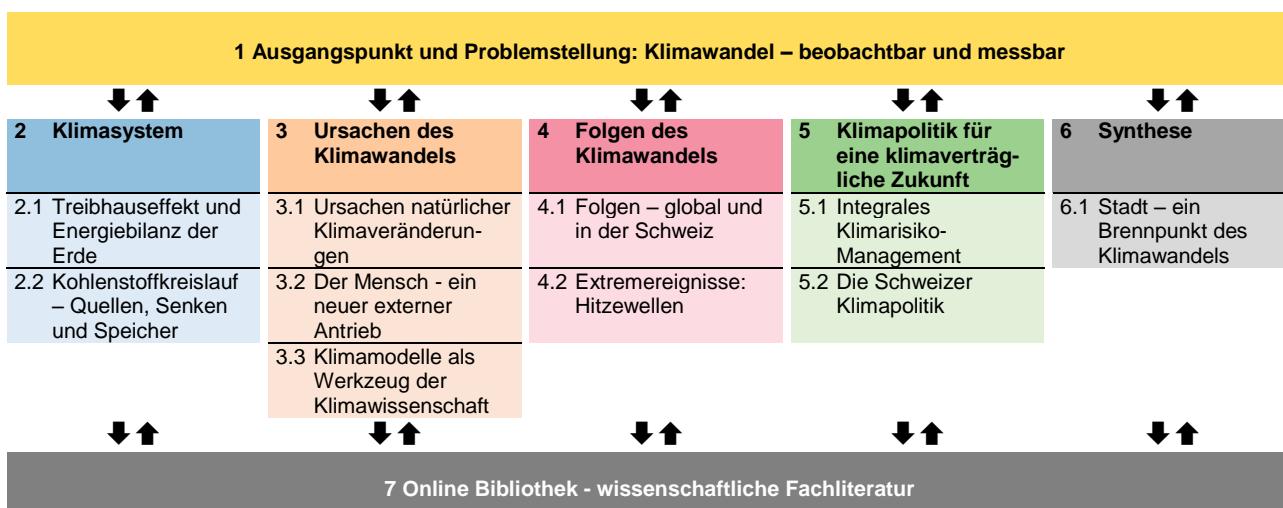


Abb. 2: Aufbau der Lerngelegenheit für die Sekundarstufe II

Die Lerngelegenheit bezieht sich auf **unterschiedliche Medien** (z.B. Filme, Websites, Radiobeiträge, Zeitungsartikel, Fachliteratur), welche für die Bearbeitung von Lernaufgaben sowie für die Erarbeitung zusätzlicher Informationen dienen. Um eine individuelle Bearbeitung der Aufgaben zu ermöglichen sowie eine ICT-basierten Unterrichtsweise zu unterstützen, sind sämtliche Links zu den Medien in Form von QR-Codes jeweils am Ende des Kapitels vermerkt. Zusätzlich finden sich dort auch Seitenverweise zum Bericht «Brennpunkt Klima Schweiz: Grundlagen, Folgen und Perspektiven» (SCNAT, 2016).

1 Klimawandel – beobachtbar und messbar

1.1 Hinweise zur Umsetzung

Ziel des problemorientierten Einstiegs ins Thema «Klimawandel und Klimapolitik» ist es, ausgehend vom Lebensraumbezug (Abb. 1.1 oder Blick aus dem Fenster des Schulzimmers) eigene Vorstellungen zum Klimawandel zu aktivieren. Dabei soll auch deutlich werden, dass klimabezogene Veränderungen im eigenen Lebensraum messbar und beobachtbar geworden sind.

Für die **Erarbeitung von Kapitel 1** bietet sich folgender Ablauf an:

- Die Schüler- und Schülerinnen notieren Ihre eigenen **Vorstellungen und Erfahrungen zum Klimawandel** in Einzelarbeit zu den sieben Fragen. Ziel ist es, Vorwissen zum Klimawandel zu erschliessen und Diskussionen anzuregen.
- Die Lehrperson sorgt für eine **strukturierte Zusammenstellung** der Schülervorstellungen zu den sieben Fragen (vgl. Vorschlag in Abb. 3) entweder mit Papierstreifen auf einer Magnetwand, Wandtafel, Flipchart oder in elektronischer Form über die digitale Klassenplattform.
- In der anschliessenden **Klassendiskussion** werden die Ergebnisse zu den sieben Fragen priorisiert (evtl. nach Anzahl Nennungen) und die Schüler- und Schülerinnen erläutern und begründen Ihre Vorstellungen zum Klimawandel und Klimapolitik.
- Zum Abschluss gibt die Lehrperson einen **Überblick zum gesamten Thema** «Klimawandel und Klimapolitik» gegliedert nach Klimasystem, Ursachen, Folgen und Massnahmen des Klimawandels und weist darauf hin, dass die geäusserten Kenntnisse zum Klimawandel mit den folgenden Lernmaterialien ergänzt, differenziert und erweitert werden – anhand aktueller Forschungskenntnisse und konkreter Beispiele.
- Die so erfassten Schülervorstellungen können **in den folgenden Lektionen immer wieder Ausgangs- und Bezugspunkt** sein, d.h. bei der Thematisierung der Ursachen, der Folgen und der Massnahmen zum Klimawandel.

Vorwissen zum Klimawandel der Klasse

A) Ursachen des aktuellen Klimawandels

Natürliche Ursachen	Anthropogene Ursachen
<ul style="list-style-type: none"> 	<ul style="list-style-type: none">

B) Folgen des aktuellen Klimawandels

Folgen global	Folgen Schweiz
A) Atmosphäre •	A) Atmosphäre •
B) Hydrosphäre und D) Kryosphäre •	B) Hydrosphäre und D) Kryosphäre •
D) Biosphäre •	D) Biosphäre •
E) Pedosphäre •	E) Pedosphäre •
F) Lithosphäre •	F) Lithosphäre •
G) Anthroposphäre •	G) Anthroposphäre •
Allgemein •	Allgemein •

C) Massnahmen

Massnahmen global und in Schweiz	Massnahmen persönlich
Massnahmen der Minderung •	Massnahmen der Minderung •
Massnahmen der Anpassung •	Massnahmen der Anpassung •

D) Fragen zum Klimawandel

-
-

Abb. 3: Vorschlag für eine strukturierte Zusammenstellung der Schüler- und Schülerinnenantworten (Schülervorstellungen) zu den sieben Fragen a bis g

2 Klimasystem

2.1 Hinweise zur Umsetzung

Dieses Kapitel hat zum **Ziel**, den Lernenden durch eine ganzheitliche Betrachtung zentraler Komponenten (Sphären), Prozesse (Energie- und Stoffkreisläufe, Rückkopplung) und Eigenschaften des Klimasystems (Nicht-Linearität) eine Orientierungshilfe zur Einordnung von klimabezogenen Ursachen, Folgen und Handlungsstrategien zu geben. Durch Strukturierung nach den Sphären des Klimasystems soll die Komplexität der unterschiedlichen Zusammenhänge und Wechselwirkungen fassbar gemacht werden, welche das Klima auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Massstabsebenen beeinflussen. Dieser Zugang soll das eigenständige, systemische und vernetzte Denken fördern, das für das Verständnis des komplexen Themas Klimawandel erforderlich ist.

Für die **Erarbeitung von Kapitel 2** bietet sich folgender Ablauf an:

- Die im Ausgangspunkt zusammengestellten **Schülervorstellungen zu Ursachen des Klimawandels** (Kapitel 1, Fragen c und d) können als Einstieg ins Kapitel 2 im Plenum diskutiert werden bezüglich ihrer Plausibilität und Verständlichkeit, d.h. Argumente und Begründungen für geäusserte Vorstellungen prägen diese Diskussion und führen allenfalls zu offenen Fragestellungen.
- Ausgehend von den begründeten Schülervorstellungen und entwickelten Fragestellungen (vgl. letzter Punkt) ist es nun das Ziel diese diskutierten Vorstellungen und Fragen mit dem wissenschaftlichen **Fachwissen zu den Sphären des Klimasystems** in Kapitel 2 zu überprüfen, differenzieren und anzureichern.
- Für eine spezifischere Erfassung der Schülervorstellungen zum **Treibhauseffekt** und den **strahlungsbedingten Ursachen des Klimawandels** bietet sich vor der Erarbeitung des Kapitels 2.1 mit dem Single-Choice-Test (vgl. Abb. 4) an. Im Kapitel 2.1 (Treibhauseffekt und Energiebilanz der Erde) sind Abbildungen und Lernaufgaben explizit so entwickelt worden, dass bei deren Erarbeitung die weit verbreiteten, fehlerhaften **Schüler- und Schülerinnenvorstellungen** «Glashaus-Modell» und «Ozonloch-Modell» (Reinfried 2008, vgl. Link zur Studie bei Abb. 4) korrigiert und differenziert werden sollten. Dabei soll deutlich zwischen dem lebensnotwendigen, **natürlichen Treibhauseffekt** sowie dem durch zusätzliche Treibhausgase herbeigeführten, **anthropogen verstärkten Treibhauseffekt** unterschieden werden. Die erarbeiteten Erkenntnisse werden in Bezug zur Energiebilanz angewendet und mit weiteren strahlungsbedingten Prozessen verknüpft. Mit der Durchführung des Tests (Abb. 4) am Schluss des Unterrichts zu Kapitel 2.1 können Lehrperson und Lernende die **Veränderung der Schülervorstellungen** (Conceptual Change) überprüfen.

Aussagen	Zu Beginn der Lektion		Am Schluss der Lektion	
	Stimmt	Stimmt nicht	Stimmt	Stimmt nicht
1. Alle einfallende Sonnenstrahlung wird an der Erdoberfläche wie an einem Spiegel reflektiert.				
2. Das CO ₂ hält Wärme in der Atmosphäre zurück. Je mehr CO ₂ in der Luft ist, desto wärmer wird es.				
3. Beim Glastreibhaus wird die Wärmestrahlung im Glas absorbiert, in der Atmosphäre geschieht dies im Gas CO ₂ .				
4. Der Grund für die globale Erwärmung ist ein Loch in der Atmosphäre, durch das die Sonnenstrahlen hereinkommen.				
5. Wegen des Ozonloches kommen mehr Sonnenstrahlen in die Atmosphäre. Deshalb wird es wärmer.				
6. Einfallende Sonnenstrahlung wird von der Erdoberfläche absorbiert und als Wärmestrahlung wieder abgestrahlt.				
7. Wegen der Luftverschmutzung bildet sich eine Art Deckel aus Treibhausgasen oben in der Atmosphäre, der die Wärmestrahlung nicht mehr hinauslässt.				
8. CO ₂ lässt Sonnenstrahlung ungehindert durch, absorbiert aber Wärmestrahlung, die vom Boden kommt.				
9. Klima wird seit vielen Jahren immer wärmer.				
Total	/ 9 P		/ 9 P	/ 9 P

Abb. 4: Single Choice Test zu Ursachen des Klimawandels (Reinfried 2008, S. 29)
(www.geoeduc.ch/files_publi/Reinfried%20et%20al._2008-Der%20Treibhauseffekt.pdf)

- Als Einstieg ins **Kapitel 2.2** bietet sich eine Plenumsdiskussion zum **Kohlenstoffkreislauf** mit den Lernaufgaben 5a und 5b an, wobei diskutierte Aspekte zu Quellen, Senken und Speicher von Kohlenstoff an der Wandtafel protokolliert und anschliessend mit der Abb. 2.8 und dem Text zum Kohlenstoffkreislauf überprüft werden. In dieser Diskussion können Bezüge zur Biologie (Fotosynthese, Atmung) und Geologie (Sedimentation, Entstehung fossiler Energierohstoffe) und Chemie (Lösung und Ausgasung von Kohlenstoff) hergestellt werden. Bei den Lernaufgaben 6 und 7 wenden die Lernenden das Gelernte zum Kohlenstoffkreislauf an (Transfer).

2.2 Links zu Fachliteratur und weiterführenden Informationen

Informationen zum Klimasystem:

- <https://worldoceanreview.com/wor-1/klimasystem/klimasystem-der-erde/> (zuletzt besucht am 29.8.2019)
- <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/2622/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Erläuterungen zu positiven und negativen Rückkopplungsmechanismen

(ZAMG):<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/rueckkopplungen> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Informationen zur Energiebilanz der Erde (ZAMG):

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/umsetzungen/energiebilanz-der-erde> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Informationen zum Treibhauseffekt:

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhauseffekt> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Informationen zum Kohlenstoffkreislauf allgemein:

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoffkreislauf> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Informationen zum Kohlenstoffkreislauf und zur Bedeutung der Ozeane:

<https://worldoceanreview.com/wor-1/meer-und-chemie/kohlenstoffkreislauf/> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Aktuelle Messkurve des Kohlenstoffdioxids (CO₂) auf dem Mauna Loa, Hawaii (NOAA):

<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Messungen des Kohlenstoffdioxids am Südpol (SCIPPS) für den Vergleich mit den Messungen auf dem Mauna Loa:

http://scrippsco2.ucsd.edu/graphics_gallery/mauna_loa_and_south_pole/mauna_loa_and_south_pole (zuletzt besucht am 29.8.2019)

2.3 Links zu Medien

Film «Der Treibhauseffekt»:

<https://www.planet-schule.de/sf/filme-online.php?film=10117> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Film «Kohlenstoffkreislauf»:

<https://www.youtube.com/watch?v=KX0mpvA0g0c> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

2.4 Lösungsvorschläge und Hinweise zu den Lernaufgaben

Lernaufgabe 1

- a) Markieren Sie in der Abbildung 1.1 auf Seite 3 Beispiele für die Sphären des Klimasystems, d.h. Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre, Pedosphäre, Lithosphäre und Anthrosophäre.



Abb. 5: Lösungsvorschlag zu Abb. 1.1 Klimawandel in der Schweiz erkennen, messen und vermindern – Thun mit Thunersee und Niesen, mit Blick in Richtung Süden (Quelle: Stadt Thun)

- b) Stellen Sie in der Abbildung 2.2 die wichtigsten Bestandteile der Sphären des Klimasystems zusammen (Hilfsmittel: Abb. 2.1)

Die **Atmosphäre** entspricht der Lufthülle der Erde und setzt sich aus unterschiedlichen Gasen zusammen. Sie beeinflusst das Klima durch die Zusammensetzung sowie den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Gase (z.B. Treibhausgase), durch Strahlungsprozesse (Streuung, Absorption & Emission), durch ihre Temperatur, den Luftdruckdruck sowie daraus resultierende Windsysteme.

Die **Biosphäre** beinhaltet sämtliche Lebewesen (Pflanzen, Tiere) in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen wie z.B. Wälder, Steppen, Plankton, Fische, Korallen. Sie beeinflusst das Klima beispielsweise über die Bindung und Freisetzung von Kohlenstoff (z.B. CO_2 , CH_4) durch Photosynthese und Abbauprozesse (Zerfall von organischem Material), über den Austausch von Wasserdampf (Transpiration) und über Strahlungsprozesse (Absorption durch dunkle Oberfläche).

Die **Hydrosphäre** beschreibt sämtliche flüssigen und gasförmigen Wasservorkommen der Erde (z.B. Ozeane, Flüsse, Seen, Niederschlag, Wolken). Sie durchdringt nahezu alle Sphären des Klimasystems (Wasserkreislauf) und nimmt daher eine zentrale Rolle im Energie- und Stoffhaushalt ein. Sie beeinflusst das Klima beispielsweise durch Ozeanströmungen, Wolken- und Niederschlagsbildung, die Speicherung, Freisetzung und Austausch von Energie (z.B. latente Wärme bzw. Wasserdampf) und Gasen bzw. Stoffen (z.B. CO_2).

Die **Lithosphäre** enthält die Erdkruste und den Erdmantel, z.B. Gebirge, Sedimentgesteine (fossile Brennstoffe), Vulkane. Sie beeinflusst das Klima durch Vulkanismus, Verwitterung von Gestein (Bindung von CO_2 durch Silikatverwitterung), Speicherung von Kohlenstoff (z.B. fossile Brennstoffe in Form von

Sedimentgesteinen) oder durch Plattentektonik und Gebirgsbildung (Einfluss auf grossräumige Atmosphären- und Ozeanströmungen).

Als **Pedosphäre** versteht man sämtliche Böden der Erde, welche das Klima beispielsweise durch die Speicherung und Freisetzung von Wasser (z.B. Verdunstung) und Kohlenstoff (z.B. Torfböden, Permafrostböden) beeinflussen.

Die **Kryosphäre** setzt sich aus sämtlichen gefrorenen Wasservorkommen zusammen (Eisschilde, Meereis, Gletscher, Schnee, Permafrost). Ihr massgeblicher Einfluss auf das Klima zeigt sich z.B. im Strahlungshaushalt (erhöhte Albedo und Reflexion; Eis-Albedo-Rückkopplung), im Wasserkreislauf (z.B. Einfluss des Meerereises auf Ozeanströmungen) sowie in Permafrostböden (verhindert Zerfall von organischem Material und damit CH₄-Emissionen).

Die **Anthroposphäre** enthält uns Menschen sowie die von uns geschaffenen und massgeblich geprägten Lebensräume (z.B. Siedlungsgebiete, intensive Landwirtschaftszonen, Infrastruktur etc.). Der Mensch beeinflusst durch seine Tätigkeiten direkt oder indirekt sämtliche anderen Sphären des Klimasystems, z.B. durch den Ausstoss von Treibhausgasen (Atmosphäre), Abholzung und Brandrodung (Biosphäre), Bewässerung und Wasserkraft (Hydrosphäre), Abdeckung von Gletschern (Kryosphäre), Landwirtschaft (Pedosphäre), Abbau fossiler Brennstoffe (Lithosphäre).

- c) Geben Sie in der Abbildung 2.2 wichtige klimarelevante Prozesse zwischen den Sphären mit beschrifteten Pfeilen an.

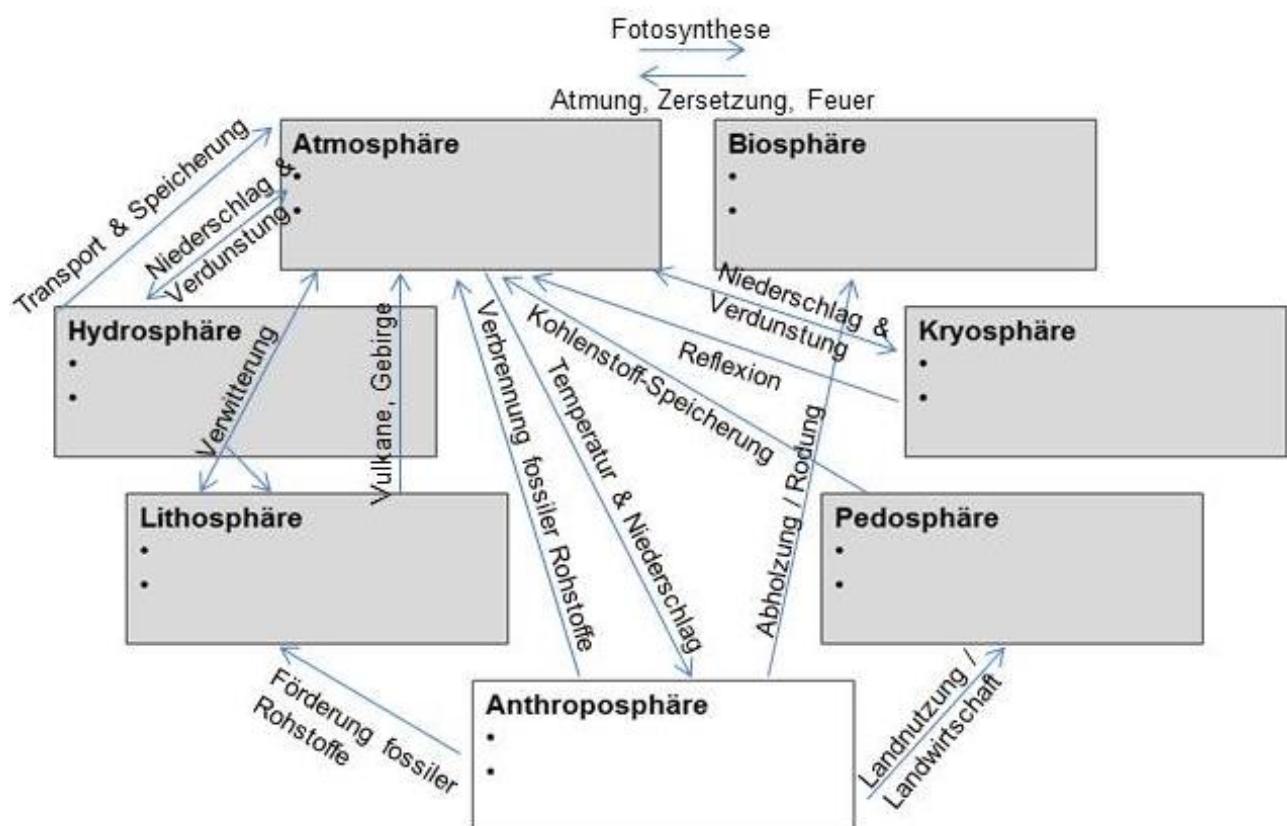


Abb. 6: Lösungsvorschlag zu Abb. 2.2 mit einer Auswahl von wichtigen klimarelevanten Prozessen zwischen den Sphären des Klimasystems (Quelle: Eigene Darstellung Projekt CCESO II, 2019)

Lernaufgabe 2

- a) «Klima ist das, was man erwartet; Wetter ist das, was man bekommt.“ (Robert A. Heinlein, 1973) Erläutern Sie das Zitat mit Hilfe der Tabelle 2.1.

Als Klima bezeichnet man die «Statistik» des Wetters (oder der Atmosphäre) über längere Zeiträume (Jahrzehnte bis Jahrhunderte, laut WMO 30 Jahre). Diese statistischen Kennwerte (z.B. Mittel- und Extremwerte) lassen sich dank Daten aus der Vergangenheit annäherungsweise berechnen, woraus sich eine Erwartung ableiten lässt.

Das Wetter bezeichnet kurzfristige Veränderungen (einzelne Tage - Wochen) im chaotischen System Atmosphäre. Aufgrund des kurzfristigen Zeithorizonts und der Vielzahl an Freiheitsgraden ist die Berechnung sehr komplex und mit entsprechend grossen Unsicherheiten behaftet («was man bekommt»). Als Illustration hierfür kann beispielsweise der vielzitierte *Butterfly-Effekt* dienen.

Beispiel: In Rom erwartet man aufgrund der südlicheren Breite höhere (Mittel-)Temperaturen als in Zürich (Klima). Es gibt aber, bedingt durch die Wetterlage, durchaus Tage, an denen es in Rom kühler ist als in Zürich (Wetter).

- b) In den Polargebieten ist der beobachtete Temperaturanstieg rund 1.5 bis 2 Mal stärker als im globalen Mittel. Erklären Sie mögliche Gründe.

Der Grund dafür ist die sogenannte Eis-Albedo-Rückkopplung. Dabei handelt es sich um einen positiven (selbstverstärkenden) Rückkopplungsmechanismus: Durch die höhere Lufttemperatur schmilzt Schnee und Eis, der dunkle Untergrund (z.B. Ozean, Boden, Gestein) kommt zum Vorschein und absorbiert grössere Anteile der Sonneneinstrahlung bzw. reflektiert weniger kurzwellige Sonnenstrahlung. Dies führt wiederum zu einer zusätzlichen Erwärmung der Atmosphäre usw.

Rückkopplungsmechanismen sind für das Klimasystem zentral: Sie stellen im Prinzip natürliche Domino-Effekte dar, welche Klimaveränderungen unkontrollierbar verstärken oder abschwächen können.

Weitere Beispiele sind die Permafrost-Methan-Rückkopplung (positiv: Aufschmelzen und Methanemissionen führen zu Temperaturanstieg); Wasserdampf-Rückkopplung (positiv: Mehr Evaporation führt zu verstärktem Treibhauseffekt und weiterem Temperaturanstieg); Wolken-Rückkopplung (negativ: Mehr Evaporation führt zu verstärkter Wolkenbildung, wodurch mehr kurzwellige Strahlung reflektiert wird und eine Abkühlung eintritt); Biosphäre-Rückkopplung (negativ: Mehr Pflanzenwachstum dank höheren Temperaturen führt zu verstärkten Bindung von CO₂ und nachfolgend zu Abkühlung)

Lernaufgabe 3

- a) Beurteilen Sie die Auswirkungen, die ein Fehlen von Treibhausgasen auf die Atmosphäre und die anderen Sphären des Klimasystems hat (Abb. 2.4 und 2.5; Film «Was ist der Treibhauseffekt?»).

Es ist kaum Leben möglich, da die globale Mitteltemperatur -18°C beträgt (Einstrahlung = Ausstrahlung) und damit das Wasser mehrheitlich gefroren ist.

- b) Beurteilen Sie den Einfluss der natürlichen Treibhausgase auf die Atmosphäre und die anderen Sphären des Klimasystems (Abb. 2.5 und Film «Was ist der Treibhauseffekt?»).

Absorption von langwelliger Wärmestrahlung durch natürlich vorkommende Treibhausgase tritt auf. H₂O mit rund 66% und CO₂ mit 22% Anteil an der Erwärmung sind die wichtigsten natürlichen Treibhausgase. Dadurch werden erst lebensfreundliche Bedingungen möglich (globale Mitteltemperatur von +15 °C).

- c) Beurteilen Sie den Einfluss der natürlichen und anthropogenen Treibhausgase auf die Atmosphäre und auf die anderen Sphären des Klimasystems (Abb. 2.6 und Film «Was ist der Treibhauseffekt?»).

Der Anteil atmosphärischer Gegenstrahlung wird erhöht und die Abstrahlung in den Weltraum nimmt ab. Dadurch ergibt sich eine zusätzliche Erwärmung. Wichtig zu betonen ist, dass anthropogene Treibhausgase keine Schicht bilden, sondern durchmischt in der Atmosphäre vorkommen. Zudem wird langwellige Wärmestrahlung an Boden und an Treibhausgasen nicht reflektiert, sondern umgewandelt, bzw. es findet eine Aufnahme und Abstrahlung durch Absorption und Emission statt.

Lernaufgabe 4

Beschreiben und begründen Sie die Wirkung folgender Veränderungen auf die lokale und globale Temperatur der Atmosphäre.

- a) Ein Super-Vulkan bricht aus und stösst grosse Mengen von Aerosolen aus.

Starker Aerosoleintrag durch Schwefeltröpfchen in der Stratosphäre führt zu verstärkter Streuung von kurzwelliger Sonnenstrahlung. Dadurch stellt sich während mehrerer Jahre eine markante Abkühlung ein, gefolgt von einem sprunghaften Temperaturanstieg nach Abbau der Aerosole in der Stratosphäre.

- b) Durch die ungebremste Verbrennung von Erdöl steigt der Treibhausgasgehalt weiter an.

Ungebremste Treibhausgasemissionen führen zu verstärktem Treibhauseffekt analog zum RCP 8.5 Szenario des IPCC. Dies hätte eine massive und langfristige Temperaturerhöhung über mehrere Jahrhunderte, eine sogenannte Super-Warmzeit zur Folge.

- c) Dächer, Strassen und Plätze werden weltweit weiss angestrichen.

Die verstärkte Reflexion kurzwelliger Sonnenstrahlung (grössere Albedo) an der Erdoberfläche bewirkt eine lokale Abkühlung (z.B. vergleichbar mit griechischen Dörfern/Städten). Global gesehen hat diese Massnahme wohl nur einen geringen Effekt, da der Grossteil der Erdoberfläche durch Ozeane, Wälder etc. bedeckt ist. Lokal kann sie hingegen sehr effektiv sein und dient als Massnahme gegen die städtische Hitzebelastung (z.B. Griechenland)

- d) Die Bewölkung nimmt weltweit markant zu.

Eine Bewölkungszunahme kann zwei verschiedene Effekte haben, je nachdem, auf welchen Wolkentyp man sich bezieht:

- *Tiefe Wolken (z.B. Stratus, Strato-Cumulus) verstärken die Streuung kurzwelliger Sonnenstrahlung und sorgen für eine Abkühlung.*
- *Hohe Wolken (z.B. Cirro-Cumulus, Cirro-Stratus) verstärken die Absorption und Emission von langwelliger Strahlung und sorgen somit eher für eine Erwärmung.*
- *Gewitterwolken (z.B. Cumulo-Nimbus) haben einen gemischten Effekt, da sie von tiefen Schichten bis hoch in die Troposphäre reichen.*

Lernaufgabe 5

- a) Wo wird Kohlenstoff auf der Erde in die Atmosphäre freigesetzt (Quelle), aus der Atmosphäre in andere Sphären aufgenommen (Senke) und für längere Zeit gespeichert (Speicher)?

Quelle:

Ein Bestandteil des Klimasystems, welcher pro Zeiteinheit grössere Mengen eines Stoffes (z.B. Kohlenstoff) abgibt, als er aufnimmt. Als Beispiele dienen die Förderung und Verbrennung von fossilen Brennstoffen durch den Menschen, die Landwirtschaft (z.B. Viehzucht, Düngung), natürliche oder anthropogene Brände oder auftauender Permafrost.

Senke:

Ein Bestandteil des Klimasystems, welcher pro Zeiteinheit grössere Mengen eines Stoffes (z.B. Kohlenstoff) aufnimmt, als er abgibt. Als Kohlenstoffsenke bezeichnet man zum Beispiel die Aufnahme von atmosphärischem CO₂ durch die Land- oder Meeresbiosphäre (Fotosynthese), die Lösung von CO₂ im Ozean und die Sedimentation von abgestorbenem organischem Material. Da die Menge des gebundenen Stoffes jedoch auf unterschiedlichen Zeitskalen variiert, sind Senken und Quellen von Speichern (oder Reservoirs) abzugrenzen, welche als statisch betrachtet werden.

Speicher:

Ein Reservoir, welches eine variable Menge eines Stoffes kurz- oder langfristig bindet. Als Kohlenstoffspeicher gelten: Atmosphäre, Biosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre. Ein Speicher kann sowohl Senke als auch Quelle sein. So gehen beispielsweise Moorlandschaften durch Trockenlegung von Senken zu Quellen über.

- b) Welches sind in Bezug auf den anthropogenen Klimawandel besonders wichtige Senken und Speicher für Kohlenstoff? Begründen Sie. (Film: «Klima – der Kohlenstoffkreislauf»)

Wissenschaftler können heute oft recht gut abschätzen, wieviel Kohlenstoff in den einzelnen Reservoirs gespeichert ist. Im Ozean befindet sich mit einer Masse von rund 39 000 Gigatonnen (Gt) Kohlenstoff (1 Gigatonne = 1 Milliarde Tonnen) gut 16-mal so viel Kohlenstoff wie in der Landbiosphäre und rund 60-mal so viel wie in der vorindustriellen Atmosphäre, zu einer Zeit also, bevor der Mensch begann, durch die verstärkte Verbrennung von Kohle, Öl und Gas Unmengen von Kohlenstoff in Form von CO₂ freizusetzen und den atmosphärischen CO₂-Gehalt zu verändern. Damals lag der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre bei nur knapp 600 Gt, heute bei rund 830 Gt Kohlenstoff. Der Ozean ist somit der Gigant unter den kurzfristigen Kohlenstoffreserven und bestimmt entscheidend den atmosphärischen CO₂-Gehalt. Der Kohlenstoff dringt jedoch erst im Laufe von Jahrhunderten in den tiefen Ozean vor, weil sich die Ozeane nur sehr träge durchmischen. Damit ziehen sich auch durch den Ozean hervorgerufene Änderungen des atmosphärischen Kohlenstoffgehalts über Jahrhunderte hin. In erdgeschichtlichen Dimensionen ist das schnell; aus menschlicher Perspektive aber zu langsam, um den Klimawandel weitgehend abzufangen. (Quelle:

<https://worldoceanreview.com/wor-1/meer-und-chemie/kohlenstoffspeicher/>; zuletzt besucht am 30.8.2019)

In Bezug auf den Klimawandel sind besonders die kurzfristigen Kohlenstoffspeicher und -senken von Bedeutung. Das heißt die Atmosphäre, Biosphäre, Pedosphäre und Hydrosphäre. Wir können dabei vor allem die Biosphäre und Atmosphäre beeinflussen, einerseits durch Aufforstungen (bzw. dem Stopp von Brandrodungen) oder der Reduktion von anthropogenen Treibhausgasemissionen. Aber auch andere Landnutzungsänderungen, wie z.B. die Vernässung von trockengelegten Feuchtgebieten oder schonendere Bodenbearbeitung sind von Bedeutung. Gefährliche Rückkopplungsmechanismen sind die Freisetzung von Methan durch auftauenden Permafrost, vermehrte Waldbrände wegen Trockenheit oder ein Rückgang in der Aufnahmefähigkeit von Ozeanen durch Veränderungen in der Chemie (Versauerung) bzw. Veränderung von Meereströmungen (weniger Kohlenstoff in tiefen Ozean transportiert)

Lernaufgabe 6

Beurteilen Sie kritisch die Aussagen auf den beiden Informationstafeln (Abb. 2.9) und begründen Sie Ihre Position.

Die Aussagen auf Tafeln suggerieren eine Reinigungswirkung durch Maisanbau bzw. dessen positive Wirkung für den Klimawandel. Jedoch wird Kohlenstoff nur sehr kurzfristig entzogen, da entweder wir Menschen den Sauerstoff wieder veratmen oder der Mais als Futtermittel eingesetzt wird, wobei der darin enthaltene Kohlenstoff durch Entgasungs-Vorgänge von Kühen (Methan) sehr bald wieder in den Kreislauf gerät. Zudem verbraucht der Anbau Treibstoff (Traktoren) und durch das Umpflügen des Bodens wird ebenfalls CO₂ freigesetzt (zusätzlich führt auch die Düngung zu N₂O-Emissionen). Wirkungsvoller wäre die direkte Verwertung des Maises als Nahrung für uns Menschen (und nicht Tiere).

Lernaufgabe 7

- a) Die älteste und wichtigste Messstation für den CO₂-Gehalt der Atmosphäre befindet sich auf dem Vulkan Mauna Loa auf Hawaii (USA). Erklären Sie mögliche Gründe für diesen Standort.

Die Station liegt mitten im Pazifik, so weit von anderen Landmassen entfernt wie keine andere Insel. Zudem ist sie auf über 3000m installiert, was eine Messung der gut durchmischten Atmosphäre (Hintergrundkonzentration) erlaubt und nicht diejenige einer lokalen Quelle (z.B. Hauptverkehrsachsen). Obschon auch Vulkan-Gase schon für Abweichungen gesorgt haben, sind diese sehr gut zu erkennen und bereinigen.

- b) Interpretieren Sie den Kurvenverlauf des CO₂-Gehalts (Abb. 2.10, rote Linie) möglichst präzis.

Die «Keeling-Kurve», benannt nach Charles David Keeling, zeigt den Anstieg von CO₂ im Bereich der Passatwindzirkulation (N-Hemisphäre). Das Sägezahnmuster kommt durch den hohen Anteil Landvegetation auf N-Hemisphäre zustande: Bindung/Senke während Nord-Sommer (Photosynthese) und Abgabe/Quelle im Nord-Winter (fehlende Photosynthese und Zersetzung von Biomasse).

- c) Wie würde eine Messkurve des CO₂-Gehalts am Südpol aussehen?

Sie hätte ein deutlich schwächer ausgeprägtes bzw. kaum sichtbares Sägezahnmuster (weniger Land-Vegetation auf S-Hemisphäre) und würde allgemein etwas tiefere Werte aufweisen (weniger Emissionen auf S-Hemisphäre und polarer Vortex über Antarktis, welcher den atmosphärischen Austausch behindert).

3 Natürlich und anthropogen verursachte Klimaveränderungen

3.1 Hinweise zur Umsetzung

Dieses Kapitel verfolgt das **Ziel**, den Lernenden einerseits natürliche Ursachen vergangener Klimaveränderungen und andererseits menschliche Tätigkeiten (Emissionen von CO₂, CH₄, N₂O), welche den aktuellen Klimawandel vorantreiben, zu verdeutlichen. Das Klima auf der Erde ist seit Millionen von Jahren ständigen Veränderungen mit komplexen Ursachen unterworfen. Für das Verständnis und die Einordnung von natürlichen und anthropogenen Ursachen des aktuellen Klimawandels ist das Verständnis vergangener Klimaveränderungen eine grundlegende Voraussetzung.

Für die **Erarbeitung von Kapitel 3** bietet sich folgender Ablauf an:

- Als **Einstieg in das Kapitel 3** ist die eigenständige **Beurteilung von klimaskeptischen Aussagen** vorgesehen. Allfällige Unsicherheiten bei der Beurteilung dieser Aussagen können als Ausgangspunkt für die Bearbeitung der Themen in diesem Kapitel dienen.
- Allenfalls können auch die im Ausgangspunkt zusammengestellten Schülervorstellungen zu den **Ursachen des Klimawandels** (Kapitel 1, Fragen c und d) beigezogen und zusammen mit den Argumenten von Klimaskeptikern diskutiert werden. Die Zusammenstellung der Schülervorstellungen gegliedert nach **natürlichen und anthropogenen Ursachen** kann auch dazu dienen, um auf die entsprechende Kapitelgliederung mit 3.1 Ursachen natürlicher Klimaveränderungen und 3.2 Der Mensch – ein neuer externer Antrieb hinzuweisen.
- Die Ursachen von **natürlichen Klimaveränderungen (Kapitel 3.1)** spielen sich auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen ab. Die Abschätzung insbesondere der zeitlichen Skalen sowie der Überblick über den groben Verlauf der Temperaturentwicklung auf der Erde stehen im Zentrum des Kapitels 3.1. Dabei soll für die Lernenden ersichtlich werden, dass natürliche Einflüsse nur einen sehr kleinen Teil des aktuellen Klimawandels erklären können.
- Die beobachtete Erwärmung seit 1950 ist mit extrem grosser Wahrscheinlichkeit vorwiegend durch den Menschen verursacht. Das **Kapitel 3.2 Der Mensch – ein neuer externer Antrieb** vertieft die Ursachen für die Zunahme der drei wichtigsten anthropogen bedingten Treibhausgase in der Atmosphäre auf allen räumlichen Massstabsebenen (lokal, regional, national und global). Dadurch soll nebst einer Übersicht zu klimaschädlichen Tätigkeiten auch eine kritische Auseinandersetzung mit persönlichen Handlungsmustern und Haltungen unterstützt werden sowie die Emissionen der Schweiz in einen globalen Kontext gestellt werden.
- **Klimamodelle (Kapitel 3.3)** stellen für die Klimaforschung ein unverzichtbares Mittel dar, um vergangenen und zukünftigen Klimaveränderungen auf die Spur zu kommen. Dank ihnen lassen sich «Experimente» durchführen, jedoch sind sie auch mit Unsicherheiten und enormen Rechenleistungen verbunden. In diesem Kapitel soll den Lernenden der wissenschaftliche Nutzen von Klimamodellen, deren Komplexität und die damit verbundenen Unsicherheiten bewusst werden.

3.2 Links zu Fachliteratur und weiterführenden Informationen

Kapitel 3.1 Ursachen natürlicher Klimaveränderungen

Paläoklima und Temperatur der Erde (ZAMG):

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/palaeoklima>
(zuletzt besucht am 29.8.2019)

Ursachen von Klimaveränderungen:

<https://edoc.huberlin.de/bitstream/handle/18452/2624/27.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Brennpunkt Klima Schweiz (2016): Das vergangene Klima (S. 32/33), Natürliche und menschliche Einflüsse (S. 28/29), Interne Klimaschwankungen (S. 34/35)

<https://naturwissenschaften.ch/service/publications/81637-brennpunkt-klima-schweiz>

Kapitel 3.2 Der Mensch – ein neuer externer Antrieb

Brennpunkt Klima Schweiz (2016): Natürliche und menschliche Einflüsse (S. 28/29), Schweizer Treibhausgasquellen (S. 161–163)

<https://naturwissenschaften.ch/service/publications/81637-brennpunkt-klima-schweiz>

Kapitel 3.3 Klimamodelle als Werkzeug der Klimawissenschaft

Brennpunkt Klima Schweiz (2016): Interne Klimaschwankungen (S. 34/35), Klimamodelle (S. 36/37)

<https://naturwissenschaften.ch/service/publications/81637-brennpunkt-klima-schweiz>

3.3 Links zu Medien

Kapitel 3.1 Ursachen natürlicher Klimaveränderungen

Alternative Skeptiker-Aussagen und Begründungen für deren Falsifikation:

- https://www.focus.de/wissen/klima/tid-8638/diskussion_aid_234323.html (zuletzt besucht am 29.8.2019)
- <https://www.skepticalscience.com/argument.php> (zuletzt besucht am 29.8.2019)
- <https://www.klimafakten.de/fakten-statt-behauptungen/fakt-ist> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Kapitel 3.2 Der Mensch – ein neuer externer Antrieb

Karte mit Angaben zu weltweitem CO₂-Ausstoss pro Kopf: <https://www.carbonmap.org/> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Online-Spiel der Universität Bern zu Ursachen von Klimaveränderungen: www.climatepoker.unibe.ch (zuletzt besucht am 29.8.2019)

3.4 Lösungsvorschläge und Hinweise zu den Lernaufgaben

Lernaufgabe 1

- a) Beurteilen Sie die Aussagen 1 bis 8 und begründen Sie Ihre Antwort möglichst präzis.

*Ziel: Beurteilung von Argumenten und Aussagen von Klimaskeptikern zu Ursachen des Klimawandels bzw. Elementen des Klimasystems. Dient der Erhebung des Vorwissens der Lernenden sowie der Aufdeckung möglicher fehlerhafter Schülervorstellungen (z.B. Ozonloch). Durch Begründung und Benennung von Unsicherheiten sollen erste Anhaltspunkte für eine problemfokussierte Bearbeitung des Kapitels geschaffen werden. Die Aussagen können flexibel gehandhabt und bei Bedarf (z.B. aus Aktualitätsgründen: Aussagen von einschlägigen Politiker*innen) ausgetauscht werden.*

1. Falsch, denn der CO₂-Gehalt der letzten 10'000 Jahre war grösstenteils konstant. CO₂ durch Vulkanismus entspricht lediglich rund 0.1% des menschlichen Ausstosses (vgl. Kapitel 2.2: Kohlenstoffkreislauf). Zudem hätte der Ausbruch eines Supervulkans eine massive Abkühlung des Klimas zur Folge (Aerosol-Eintrag).
2. Korrekt. In der Tat hat sich das Klima schon oft gewandelt, es reagiert sensibel auf verschiedene Einflüsse. Jedoch können die derzeitigen Klimaänderungen durch die bekannten natürlichen Mechanismen nicht erklärt werden – es sind unbestreitbar menschliche Einflüsse, die momentan die Erde aufheizen. Trotzdem ist ein Blick in die Erdgeschichte lehrreich: Die natürlichen Klimawandel der Vergangenheit zeigen, dass das Klima empfindlich auf ein Energieungleichgewicht reagiert. Aus früheren Klimaveränderungen lässt sich also weniger etwas über die Ursachen des heutigen lernen, wohl aber über den Ablauf und die Folgen einer Erderwärmung.
3. Falsch. Ozonloch und Klimawandel sind zwei verschiedene Umweltprobleme, welche nur wenig miteinander gemeinsam haben. Ein sehr verbreitetes Missverständnis ist die schädliche Wirkung von CO₂ für die Ozonschicht. Wichtig dabei ist die Unterscheidung bzgl. der Lage des Ozons: Ozon in der Stratosphäre schützt vor UV-Licht und bezieht sich auf die Ozonloch-Problematik. Ozon in der Troposphäre (Ozonbelastung im Hochsommer) wirkt sich hingegen als Treibhausgas auf den Klimawandel aus.
4. Korrekt. Aber da dieses CO₂ dem natürlichen Kreislauf zusätzlich hinzugefügt wird, sind die anthropogenen Emissionen für den Anstieg des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre verantwortlich. Der natürliche

Kohlenstoffkreislauf ist in einem Gleichgewicht zwischen Quellen und Senken und die Aktivitäten des Menschen stören diese Balance.

5. Falsch, denn in den letzten Jahrzehnten (seit 1960) nimmt die Sonnenaktivität ab, während dessen die Temperatur der Atmosphäre angestiegen ist. Es ist kein physikalischer Prozess bekannt, wie die gleichbleibende oder abnehmende Sonnenaktivität den Temperaturanstieg bewirkt haben soll.
6. Korrekt. Aber die Erwärmungspause zwischen 1945 und 1975 spricht nicht gegen den menschgemachten Klimawandel. Damals überdeckten Aerosole (kühlend) den Effekt der CO₂-Emissionen.
7. Falsch. Selbst wenn die Sonnenaktivität zurückgehen sollte, wären die Folgen für die Erderwärmung marginal. Unter Wissenschaftlern ist umstritten, wie verlässlich sich die künftige Aktivität der Sonne überhaupt vorhersagen lässt. Aber selbst wenn die Sonne demnächst in eine Phase extrem niedriger Aktivität eintrate, würde dadurch nur ein sehr kleiner Teil der Erwärmung ausgeglichen, die der Mensch durch seine Treibhausgasemissionen verursacht.
8. Korrekt, es war im Nordatlantikgebiet zu Beginn des letzten Jahrtausends (Mittelalterliche Warmzeit) ähnlich warm wie heute. Regionale Temperaturerhöhungen sagen aber wenig über den aktuellen globalen Klimawandel aus. Denn global gesehen war es damals kühler als heute (<https://www.nzz.ch/wissenschaft/die-globale-erwärmung-ist-in-den-letzten-2000-jahren-einzigartig-1d.1497727>; zuletzt besucht am 29.8.2019). Zudem war es auf Grönland lediglich an den Küsten grün und der Name «Grönland» schönfärberisch, um Neusiedler in die unwirtliche Gegend zu locken.

- b) Geben Sie bei jeder Aussage auch Ihre Unsicherheiten an, resp. die Grundlagen und Informationen, die Ihnen zur Beurteilung fehlen.

individuell

- c) Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse in der Klasse und ergänzen Sie Ihre Antworten, Begründungen und Unsicherheiten.

individuell

- d) Überprüfen Sie anschliessend Ihre Antworten, Begründungen und Unsicherheiten mit dem aktuellen Forschungswissen zu den Ursachen des Klimawandels im folgenden Kapitel. Ziehen Sie dabei auch Ihre Überlegungen aus der Aufgabe 1d mit ein.

individuell

Lernaufgabe 2

- a) Interpretieren und erklären Sie mögliche Ursachen für den Kurvenverlauf in Abb. 3.1 zu den jeweiligen Nummern.

Generell: Je weiter in Vergangenheit, desto grösser die Unsicherheiten.

1. *Sukzessive Abkühlung im Eozän (vor 55 - 34 Mio. Jahren):*
Plattentektonik (verstärkte Gesteinsverwitterung durch Plattenverschiebung und Gebirgsbildung; Entstehung des zirkumpolaren Südozeans zwischen Südamerika, Australien und Antarktis; Nordhalbkugel: keine zirkumäquatoriale Strömung mehr möglich.)
2. *Regelmässige Schwankungen im Pleistozän (vor 1 Mio. – 20'000 Jahren):*
Milankovic-Zyklen (Schwankungen von verschiedenen Erdbahnparametern) lösten positive Rückkopplungsmechanismen (v.a. Eis-Albedo-Rückkopplung) aus. Wechselspiel aus längeren Kalt- und kürzeren Warmzeiten in regelmässigen Abständen von 19'000 und 100'000 Jahren.
3. *Stabile Warmzeit des Holozäns (letzte 12'000 Jahre):*
Verschiedene Antriebe: Erdbahnparameter (Erwärmung nach letzter Kältephase), Vulkanismus (z.B.

Tambora 1816), Sonnenaktivität (z.B. kleine Eiszeit 1400-1800 n.Chr.), Rückkopplungseffekte, interne Klimaschwankungen. Die stabile Warmphase erlaubte Sesshaftigkeit und die Bildung von Hochkulturen im Neolithikum (11500 – 2000 v.Chr.). Über die letzten 400 Jahre hat sich die Erdoberfläche global erwärmt, d.h. aus der sogenannten «Kleinen Eiszeit», einer global kühleren Periode, ist die Erde in die moderne, menschgemachte Warmzeit übergegangen (vgl. nächster Punkt 4).

4. Erwärmung durch Menschen seit Industrialisierung (ca. 1880):

Ausstoss von Treibhausgasen aus fossilen Energieträgern (Freisetzung von langfristig gespeichertem Kohlenstoff zur Energiegewinnung) und Landnutzungsänderungen (Abholzung, Landwirtschaft) führen zu einem Anstieg von CO₂, CH₄ und N₂O (vgl. Abb. 3.3). Anthropogen verstärkter Treibhauseffekt führt zu Erwärmung: Auslöser für Rückkopplungsmechanismen.

- b) Überprüfen Sie Ihre Interpretationen mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen zu verschiedenen Ursachen von Klimaveränderungen in diesem Kapitel.

individuell

Lernaufgabe 3

Welche Treibhausgase werden durch welche menschliche Tätigkeit verursacht?

Studieren Sie die Tabelle 3.2 und Abb. 3.2 und 3.4 und markieren Sie die Bereiche, wo eine Verminderung von Treibhausgasemissionen a) besonders wichtig und b) mit wenig Einschränkungen in der Lebensqualität erreichbar wäre und begründen Sie Ihre Beurteilung

Quellen können anhand der Abb. 3.2 aufgezeigt bzw. verortet werden und mit einzelnen Beispielen (z.B. von <https://www.climatevisuals.org/>; zuletzt besucht am 29.8.2019) illustriert werden. Im Plenum kann diskutiert werden, welche Treibhausgase global, national und lokal (für Lernende) ohne grösseren Einschränkungen zu reduzieren wären.

- CO₂: 73% des anthropogenen Treibhauseffekts (global)

Wichtige Quellen: Mobilität (Verkehr/Transport), Energiegewinnung/Industrie (Güterherstellung), Haushalte (Kühlung, Heizung), Land- und Waldwirtschaft (Rodung, Abholzung, Transport, Landnutzung)

- CH₄: 17% des anthropogenen Treibhauseffekts (global)

Quellen: Landwirtschaft (Rinderzucht, Nassreisanbau), Abfallwirtschaft (Verbrennung Biomasse, Ausgasung Mülldeponien), Energieproduktion (Abbau von Erdöl, Kohle, Erdgas)

- N₂O: 8% des anthropogenen Treibhauseffekts (global)

Quellen: Landwirtschaft/Plantagen (Bodendüngung, Verbrennung Biomasse), Industrie (Nylon-Produktion)

Bemerkung zu Abb. 3.4: Aktuellere Zahlen und Vereinfachung der Sektoren sind auf der BAFU-Website zu finden (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html>; zuletzt besucht am 29.8.2019)

Lernaufgabe 4

- a) Gibt es Emission, welche von Schweizerinnen und Schweizern verursacht werden und in der Abbildung 3.4 nicht berücksichtigt sind? Begründen Sie.

- Internationaler Flugverkehr (entspräche ca. 18% der CH-Emissionen)

- Graue Emissionen aus Importgütern (entspräche mehr als eine Verdoppelung der «normalen» Pro-Kopf-Emissionen, welche so bei rund 14t CO₂ liegen)

- Indirekte Emissionen durch Investitionen des Schweizer Finanzplatzes (weitere Informationen auf BAFU-Website: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klima-und-finanzmarkt.html>; zuletzt besucht am 29.8.2019)

- b) Ordnen Sie die Pro-Kopf-Emissionen der Schweiz im internationalen Vergleich mit Hilfe der interaktiven Karte ein. <https://www.carbonmap.org> (→ Shade by «CO₂ per person»).

CH: 5.8t pro Kopf (oberes Mittelfeld)

Gründe für die relativ tiefen Emissionen sind: Viel Wasserkraft im Strommix, >70% importierte Konsumgüter, graue Emissionen nicht berücksichtigt, kaum energieintensive Schwerindustrie, internationaler Flugverkehr nicht berücksichtigt, indirekte Emissionen durch Finanzplatz Schweiz nicht berücksichtigt.

- c) Erklären Sie die weltweite Verteilung der CO₂-Emissionen und nehmen Sie dabei Bezug zu Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt.

Voraussetzung für internationale Vergleichbarkeit ist die Umrechnung der verschiedenen Treibhausgase in CO₂-Äquivalente (Treibhauspotential über 100 Jahre). Wichtig ist zudem die Unterscheidung zwischen kumulativen Emissionen (CH: 0.1% der globalen Emissionen) und Pro-Kopf-Emissionen, wobei letztere deutlich aussagekräftiger sind.

Hohe Emissionen werden vorwiegend durch erdölexportierende Länder und Industrieländer verursacht. Gründe sind die Förderung fossiler Energieträger, der hohe Energieverbrauch durch hochtechnologisierte Wirtschaft und Mobilität, die Produktion von Exportgütern, sowie die gesellschaftlich verankerte «westliche Konsumgesellschaft».

Tiefe Emissionen zeigen v.a. die Entwicklungsländer des Südens, welche durch schwache Volkswirtschaften, wenig Industrie, stark wachsende Bevölkerung und oft geringe Rohstoffvorkommen charakterisiert sind.

Anschliessend bietet sich Plenums-Diskussion um Wertevorstellungen und Verantwortung der westlichen Konsumgesellschaft an. Dabei kann z.B. die Entkoppelung von Ursachen und Folgen thematisiert werden, d.h. die Hauptverursacher konzentrieren sich auf westliche Konsumgesellschaft, jedoch sind die Folgen teilweise am stärksten für Entwicklungsländer des Südens aufgrund geringer Anpassungsmöglichkeiten (z.B. wegen fehlenden finanziellen Ressourcen und/oder fehlendem Knowhow).

Lernaufgabe 5

- a) Erläutern Sie anhand der Abbildung 3.5, inwiefern Klimamodelle für die Bestimmung von Ursachen von Klimaveränderungen nützlich sind.

«Detection-and Attribution» Methode: Dank Klimamodellen lassen sich «Experimente» durchführen, z.B. Simulationen mit und ohne menschlichem Einfluss, welche dann mit Beobachtungen oder Klimaarchiven verglichen werden. Sie erlauben die Berechnung von globalen Stoff- und Energieflüssen in Vergangenheit und Zukunft. Voraussetzungen dafür sind hohes Prozessverständnis, Kenntnis der Grössenordnungen und Zeitskalen von Klimaantrieben und natürlichen Schwankungen (Quelle für Unsicherheiten).

- b) Überprüfen Sie Ihre Erklärung anhand des Blogeintrags von ETH-Klimaforscher Lukas Gudmundsson zu «Wie weist man den menschengemachten Klimawandel nach?».

individuell

4 Folgen des Klimawandels

4.1 Hinweise zur Umsetzung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zu globalen und lokalen Auswirkungen für Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft mit dem **Ziel**, die Vorstellungen der Lernenden zu Folgen des Klimawandels zu differenzieren und erweitern sowie eine Einordnung der Folgen sowie deren Bedeutung für ihren Alltag bezogen auf wissenschaftliche Erkenntnisse zu unterstützen. Dabei gilt es zu beachten, dass die Folgen des anthropogenen Klimawandels (Starkniederschläge, Hitzewellen, auftauender Permafrost, Tourismus, Ernteeinbussen und Migration) komplex sind, teilweise nicht direkt beobachtbar und erschliessbar sind und die Folgen auf vielschichtige Art und Weise miteinander zusammenhängen.

Für die **Erarbeitung von Kapitel 4** bietet sich folgender Ablauf an:

- Die in Kapitel 1 zusammengestellten **Schülervorstellungen zu den Folgen des Klimawandels** (Kapitel 1, Fragen a bis c) geordnet nach den Sphären des Klimasystems (vgl. Abb. 3) können Ausgangs- und Bezugspunkt während der Erarbeitung des gesamten Kapitels 4 sein. Ziel ist es diese Vorstellungen mit dem aktuellen Fachwissen zu überprüfen, differenzieren und anzureichern.
- Als **Einstieg ins Kapitel 4.1** können daher die zusammengestellten Schülervorstellungen bezüglich ihrer **Plausibilität und Verständlichkeit im Plenum diskutiert** werden, d.h. Argumente und Begründungen für geäusserte Vorstellungen zu den Folgen des Klimawandels prägen diese Diskussion und führen allenfalls zu **Fragestellungen der Lernenden**. Diese Diskussion kann mit der Abbildung 1.1 oder mit dem Blick aus dem Schulzimmerfenster angeregt, vertieft und mit Bezügen zum eigenen Lebensraum konkretisiert werden. Ausgehend von der Lernaufgabe 1 können die Schülervorstellungen mit den Fachvorstellungen in Kapitel 4.1 verglichen und so differenziert und angereichert werden.
- Die **Vertiefung verschiedener Folgen des Klimawandels** kann mit Recherchen in der Fachliteratur ausgehend von den Fragestellungen der Lernenden (vgl. oben) oder von der Lernaufgabe 2 als Gruppenarbeit erfolgen.
- Das **Kapitel 4.2** widmet sich den vielfältigen Auswirkungen von **Hitzeperioden**, welche durch den Klimawandel an Häufigkeit, Intensität und Dauer insbesondere auch in Europa und der Schweiz zunehmen und in Europa zu den tödlichsten Naturereignissen zählen. Das Mystery (Lernaufgabe 3) soll als Unterrichtseinstieg dienen. Ziel ist es, Hypothesen zu entwickeln zum Zusammenhang zwischen dem Polizeihund der Stadtpolizei Zürich und den drei bekannten Persönlichkeiten aus Sport und Unterhaltung.

Aufgrund der **Hitzesommer der vergangenen Jahre** können bei den anderen Materialien in diesem Kapitel immer wieder Bezüge zu **Erfahrungen und Wahrnehmung der Lernenden** im eigenen Lebensraum hergestellt werden.

4.2 Links zu Fachliteratur und weiterführenden Informationen

4.1 Folgen – global und in der Schweiz

IPCC-Synthesebericht (2014): Übersicht zu globalen Auswirkungen des Klimawandels (Grafiken etc.):
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf (zuletzt besucht am 29.8.2019)

National Center for Climate Services (NCCS): Website mit ausführlichen Informationen zum Auswirkungen für verschiedene Sektoren und Regionen:
<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home.html> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Schweizer Radio und Fernsehen (SRF): Diesen Effekt hat der Klimawandel auf Ihren Wohnort.
<https://www.srf.ch/news/schweiz/so-ist-die-schweiz-betroffen-diesen-effekt-hat-der-klimawandel-auf-ihren-wohnort> (zuletzt besucht am 1.12.2019)

Brennpunkt Klima Schweiz (2016): Übersicht zu Risiken und Folgen des Klimawandels; Verweise zu Vertiefungskapiteln (S. 1-4),
 Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Temperatur (S. 40-45),
 Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Wasserkreislauf (S. 46-51),

Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Klima- und Wetterextreme (S. 52-59),
Beobachtungen und zukünftige Folgen in Bezug auf Ozeane, Schnee und Eis (S. 60-67),
detaillierte Beschreibung von Folgen/Risiken (S. 80-143)

4.2 Extremereignisse: Hitzewellen

Link zur ETH-Studie bzgl. Ursachen der Hitzewellen 2018:

<https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2019/04/grossflaechige-hitzeextreme-aufgrund-von-menschgemachtem-klimawandel.html> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Brennpunkt Klima Schweiz (2016):
Extremereignisse/Hitzewellen (S. 52-56)

BAFU-Bericht «Hitze und Trockenheit im Sommer 2018 – Auswirkungen auf Mensch und Umwelt»:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/hitze-und-trockenheit.html> (zuletzt besucht am 1.11.2019)

Wiki-Bildungsserver:

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Hitzewellen> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

NCCS: Klimaszenarien CH2018 in Bezug auf Hitze(-tage):

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/kernaussagen/mehr-hitzetage.html> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

4.3 Links zu Medien

Kapitel 4.1 Folgen – global und in der Schweiz

Alternative zu Panorama-Foto (Abb. 1.1): Luftbilder der Schweizer Luftwaffe (<http://luftbilder-der-schweiz.ch/Hauptseite>; zuletzt besucht am 29.8.2019); statisch oder teilweise auch als Film (<http://swissview.com/>; zuletzt besucht am 29.8.2019)

Höchst aktuelle Grafiken und Diagramme zu lokalen Indikatoren und Folgen des Klimawandels in der Schweiz (Klimaszenarien CH2018 – Webatlas):

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Medienberichte

- <https://www.watson.ch/schweiz/wissen/102426265-14-auswirkungen-des-klimawandels-auf-die-schweiz> (zuletzt besucht am 29.8.2019)
- <https://www.nzz.ch/schweiz/folgen-des-klimawandels-die-schweiz-trifft-es-hart-ld.127012> (zuletzt besucht am 29.8.2019)
- <https://www.tagesanzeiger.ch/wissen/natur/Schweiz-von-Klimawandel-besonders-betroffen/story/17365989> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Filme

- SRF Film «3°+»: <https://www.srf.ch/kultur/wissen/3/3-gefaehrlicher-sommer-2> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Karten

- Weltkarte mit Stories zu Klimafolgen: <https://www.oxfam.de/unsere-arbeit/themen/weltkarte-menschen-klimawandel> (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Kapitel 4.2 Extremereignisse: Hitzewellen

NZZ-Artikel (1) vom 4.8.2018: <https://www.nzz.ch/panorama/die-unerwarteten-folgen-der-hitzewelle-ld.1408889> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

NZZ-Artikel (2) vom 4.8.2018, «Ein Hitzesommer, der schon bald zur Norm werden könnte»:
<https://www.nzz.ch/wissenschaft/ein-hitzesommer-der-schon-bald-zur-norm-werden-koennte-ld.1408817>
 (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Ausschnitt ARD-Wetter (16.11.2018) zum Zusammenhang zwischen Extremereignissen, Jetstream-Abschwächung und Klimawandel: <https://www.daserste.de/information/nachrichten-wetter/wetter/videos/klimawandel-braende-kalifornien-regen-italien-100.html> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

4.4 Lösungsvorschläge und Hinweise zu den Lernaufgaben

Lernaufgabe 1

Zu Ihrer Zusammenstellung von Folgen des Klimawandels aus Aufgabe 1a, b und c in Kapitel 1:

- a) Vergleichen Sie diese mit der räumlichen Verteilung von Lufttemperatur und Niederschlag (Abb. 4.1) und begründen Sie allfällige Abweichungen.

Mittlere Lufttemperatur:

Weltweiter Anstieg erwartet, es gibt praktisch keine Gebiete mit Abkühlung. Je nach Emissionsszenario liegt der globale Anstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zwischen 0.3 – 1.7 °C (optimistisch; RCP 2.6) und 2.6 bis 4.8 °C (pessimistisch, RCP 8.5). Die Erwärmung verläuft nicht uniform, sondern regional sehr unterschiedlich (teils bis zu 7 °C). Generell ist die Erwärmung über Landmassen/Kontinenten stärker (aufgrund thermischer Trägheit der Ozeane), die stärkste Erwärmung wird in den nördlichen Breiten («polar amplification») aufgrund der Eis-Albedo-Rückkopplung erwartet (weniger Reflexion durch abschmelzende Schnee- und Eismassen). Bezuglich Temperaturprojektionen liegen nur geringe Unsicherheiten vor (grosse gepunktete Fläche).

Mittlerer Jahresniederschlag:

Generelle Zunahme erwartet, da wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Jedoch relativ starke regionale (und saisonale) Unterschiede ersichtlich: Stärkste Zunahme in nördlichen Breiten und mit einigen Ausnahmen entlang des Äquators. Abnahme in vielen subtropischen Regionen, z.B. im Mittelmeerraum. Grosse Variabilität bzgl. Emissionsszenario: Relativ kleine Änderungen für RCP 2.6, stark für RCP 8.5 (-30% bis +50%). Bezuglich Niederschlagsprojektionen bestehen relativ grosse Uneinigkeiten (Unsicherheiten) zwischen den Modellen (grosse schraffierte Fläche).

Vergleich mit eigener Zusammenstellung: Individuell.

- b) Überprüfen Sie Ihre Überlegungen zudem mit weiteren wissenschaftlichen Kenntnissen zu Folgen des Klimawandels in diesem Kapitel und markieren Sie Unklarheiten für eine weiterführende Abklärung.

Lokale versus globale Folgen: Gleiche oder ähnliche Folgen (bzw. gleiche physikalische Prozesse) treten auf unterschiedlichen Massstabsebenen auf (z.B. Erwärmung Aare versus Erwärmung Ozeane; weniger Schnee im Mittelland oder Gletscherschmelze in Alpen versus weltweiter Rückgang Schnee- und Eisbedeckung). Daran wird deutlich, dass der Klimawandel auf sämtlichen Massstabsebenen und nicht nur für weit entfernte Gebiete gravierende Auswirkungen hat.

Lernaufgabe 2

- a) Diskutieren Sie in der Klasse Ihre Unklarheiten zu den wissenschaftlich erwiesenen Folgen des Klimawandels sowie deren Auswirkungen.
 b) Klären Sie die diskutierten offenen Fragen anschliessend in Gruppen mit Hilfe des aktuellen IPCC-Berichts und des Berichts «Brennpunkt Klima Schweiz» (2016) und präsentieren Sie der Klasse die Ergebnisse Ihrer Recherche.

Individuell

Vorschlag zu didaktischer Umsetzung von 2a und b:

*Die verschiedenen Folgen (Abb. 4.2, 4.3) in der Klasse aufteilen und individuelle Recherche von einzelnen Folgen anhand der Fachliteratur durchführen. Sonst ist kann es ziemlich zeitaufwendig sein. Anschliessend kurze Präsentation (1-2 min.) pro Schüler*in und Folge, die Lehrperson führt Ergänzungen hinzu. Einführende Erklärungen der Grundlagen (Anstieg der Treibhausgase; Veränderung Temperatur und Niederschlag) durch die Lehrperson sind ebenfalls empfehlenswert. Dabei insbesondere Veränderung bzw. Variabilität auf globaler und lokaler Ebene illustrieren (wo besonders stark/schwach ausgeprägt, Gründe dafür). Bezüge zu Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft sollten verdeutlicht und wenn immer möglich im Lebensraum der Lernenden verankert werden (inwiefern betrifft es Ihren Alltag?).*

Fazit: Enorme Bandbreite von Folgen, sie betreffen diverse Bereiche, es treten sowohl direkte wie auch indirekte Folgen auf, die Extreme nehmen zu, es gibt Verlierer und Gewinner, die Kosten von negativen Folgen sind höher als Gewinne durch «positive» Auswirkungen und die Schweiz ist als Alpenland in besonderem Masse betroffen.

- c) Begründen Sie präzise, welche Folge des Klimawandels Sie Ihrer Meinung nach persönlich am stärksten betrifft. Diskutieren Sie anschliessend in der Klasse.

Diskussion mit Banknachbar bzw. im Plenum zur unterschiedlichen, individuellen Betroffenheit durch Folgen des Klimawandels.

Persönliche Erfahrungen und damit verbundene Emotionen sollen thematisiert werden: Weshalb sind genau diese Folgen für mich besonders relevant? Wie betreffen sie mich im Alltag? «Unsere Generation» wird mit den grössten Folgen umgehen müssen.

Anschlussfragen eröffnen die Möglichkeit für tiefergreifende Diskussion um Emotionen und Subjektivität bzgl. der Thematik: Worüber sorgen sich Schüler- und Schülerinnen am meisten? Lokale oder weit entfernte Folgen? Gesundheit, Umwelt oder Wirtschaft?

Zur Vermeidung von Pessimismus und Hoffnungslosigkeit sollte zum Abschluss der Diskussion hervorgehoben werden, dass sich durch konsequenter Klimaschutz 50% der (negativen) Folgen bis 2060 vermeiden lassen.

Lernaufgabe 3

- a) Entwickeln Sie Hypothesen zu klimabezogenen Zusammenhängen zwischen dem Schäferhund und Star-DJ David Guetta, Snowboarder Iouri Podladchikov oder Tennisspieler Roger Federer (Abb. 4.5).

Dem Polizeihund wurden während einer Hitzewelle im Sommer 2018 zum Schutz vor Verbrennungen an den Pfoten Füsslinge übergestreift. Das Ausmass dieser Hitzewellen auf der Nordhalbkugel, so wurde in einer kürzlich erschienenen ETH-Studie nachgewiesen, wäre ohne den Erwärmungsbeitrag aus anthropogenen Treibhausgasen nicht möglich gewesen. Die drei Persönlichkeiten emittieren durch ihren energieintensiven Berufsalltag (von Gig zu Gig, Turnier zu Turnier und Contest zu Contest) enorm grosse Mengen an CO₂, was den Klimawandel verstärkt.

- b) Vergleichen und diskutieren Sie Ihre Vermutungen in der Klasse und überprüfen Sie diese mit Hilfe des NZZ-Artikels vom 4.8.2018.

individuell

Lernaufgabe 4

- a) Recherchieren Sie Auswirkungen von Hitzewellen auf Schweizerinnen und Schweizer mit Hilfe der wissenschaftlichen Fachliteratur sowie der Website des Bundesamtes für Gesundheit.
 b) Ordnen Sie Ihre Ergebnisse den Bereichen Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft zu (vgl. Schnittmengenmodell der nachhaltigen Entwicklung).

- *Gesellschaft: Folgen von Hitzestress für den menschlichen Körper (insbesondere Gefährdung des Herz-Kreislauf-Systems sowie Nierenprobleme durch unzureichende Flüssigkeitszufuhr), fehlende Abkühlung in der Nacht führt zu Störung der nächtlichen Erholungsphase (z.B. während Tropennächten), erhöhte Ozonbelastung (Atemwegserkrankungen, Allergiker), reduzierte Leistungsfähigkeit und höhere Gefahr von (Arbeits-)Unfällen durch Müdigkeit und Schlappheit, überfüllte Badis, etc.*

- *Umwelt: Hitzestress und fehlende Flüssigkeitszufuhr von Tieren (z.B. Weidevieh), Sauerstoffmangel in Gewässern als Gefahr für gewisse Fischarten (z.B. Äsche und Forellen), Austrocknung von Gewässern und Böden, Trockenheitsschäden an Vegetation (z.B. frühzeitiger Laubwurf und Astbruch von Bäumen) und damit einhergehende Erhöhung der Anfälligkeit für Schädlinge (z.B. Borkenkäfer), etc.*

- *Wirtschaft: Tiefere Arbeitsleistung aufgrund Müdigkeit und Schlappheit, höhere Stromkosten wegen massiv stärkerem Kühlungsbedarf von Gebäuden, grössere Getränke- und Glacé-Umsätze, Engpässe in der Rohstoffversorgung durch tiefe Flusspegel und eingeschränkter Binnenschiffahrt, schwächere Energieproduktion durch Wasser- und Atomkraft, Schäden an Infrastruktur (z.B. Verkrümmung von Bahngleisen), höhere Kosten durch Bewässerung (v.a. Städte), etc.*

Alternativ kann die Strukturierung auch nach den Sphären des Klimasystems erfolgen.

- c) Welche Personengruppen sind durch Hitzewellen am meisten bedroht? Begründen Sie Ihre Vermutungen und überprüfen Sie diese mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen im aktuellen IPCC-Bericht (2014: S. 15, 73, 74) und in «Brennpunkt Klima Schweiz (2016: S. 132-135)

Vorwiegend ältere Menschen (Ü70), Säuglinge, schwangere Frauen und chronisch Kranke. Gründe dafür sind einerseits die eingeschränkte Fähigkeit zur körpereigenen Temperaturregulierung (Transpiration) und mangelnde Flüssigkeitszufuhr durch vermindertes Durstgefühl. Andererseits bieten ein geschwächtes Immunsystem und feucht-warme Bedingungen Angriffsfläche für z.B. bakterielle Entzündungen.

- d) «Ein Hitzesommer wie 2003, 2015 oder 2018 wird in 50 Jahren normal sein». Beurteilen Sie diese Aussage mit Hilfe der Abbildung 4.6.

Abbildung zu RCP 8.5 (unten): Im Zeitraum von 2068 bis 2100 gibt es im Mittel in der Schweiz zwischen 12 bis 33 Hitzewellen pro 33 Jahre, d.h. in jedem oder zumindest jedem dritten Sommer.

Abbildung zu RCP 4.5 (oben): Im Zeitraum von 2068 bis 2100 treten im Mittel in der Schweiz zwischen 2 bis 6 Hitzewellen pro 33 Jahre auf, d.h. mindestens alle 5 bis 15 Jahre.

Daraus folgt, dass mit griffigen Massnahmen gegen den Klimawandel eine solche Aussage nicht unbedingt haltbar wäre (zumindest gestützt auf die vorliegende Abbildung). Aktuell befindet sich die Welt hingegen eher im Szenario RCP 8.5 («business as usual»), daher ist eine solche Aussage zum jetzigen Zeitpunkt gerechtfertigt. Zu beachten ist jedoch, dass die Modellauflösung sehr grob ist und z.B. Alpen sehr schlecht berücksichtigt werden (vgl. auch Sizilien). Für realistischere Einschätzungen der obigen Aussage bräuchte es besser aufgelöste Modelle wie z.B. die Klimaszenarien CH2018.

Weiterführende Aufgabe: Analysieren Sie die Prozesse, welche zu ausgewählten Folgen des Klimawandels führen sowie die Konsequenzen welche diese Folgen für die Menschheit in Zukunft haben können.

- **Artenvielfalt** (IPCC Klimaänderung 2014, Synthesebericht S. 13, 50, 53, 67, 73 und Brennpunkt – Klima – Schweiz S. 100-105)
- **Meeresspiegelanstieg** (IPCC Klimaänderung 2014, Synthesebericht S.16, 42/44, 64, 73 und Brennpunkt – Klima – Schweiz S. 60-66))
- **Ernährungssicherheit** (IPCC Klimaänderung 2014, Synthesebericht S. 13, 15, 73 und Brennpunkt – Klima – Schweiz S. 111-115)
- **Gesundheit des Menschen** (IPCC Klimaänderung 2014, Synthesebericht S. 15, 73, 74 und Brennpunkt – Klima – Schweiz S. 132-135))
- **Tourismus** (IPCC Klimaänderung 2014, Synthesebericht S. 16, 73, 76 und Brennpunkt – Klima – Schweiz S. 117-120)
- **Wasserverfügbarkeit** (IPCC Klimaänderung 2014, Synthesebericht S. 73, 76 und Brennpunkt – Klima – Schweiz S. 84-87)
- **Extremwetterextreme, Wirbelstürme** (IPCC Klimaänderung 2014, Synthesebericht S. 54, 73 und Brennpunkt – Klima – Schweiz S. 52-58)

5 Klimapolitik für eine klimaverträgliche Zukunft

5.1 Hinweise zur Umsetzung

Ziel dieses Kapitels ist es, die zahlreichen Massnahmen zum Klimawandel als Teil eines «integralen Klimarisiko-Management» einzuordnen, um so ein ganzheitliches Verständnis für den Umgang mit Ursachen und Folgen des Klimawandels zu schärfen. Das **integrale Klimarisiko-Management** hat das Ziel, den Energie- und Rohstoffbedarf der Menschheit so zu decken, dass dabei gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedürfnisse sowie die Belastbarkeitsgrenzen des natürlichen Klimasystems nicht überschritten werden und so ein Lebensraum für die klimaverträgliche Zukunft der Menschheit gesichert wird.

Das Modell für ein «**Integrales Klimarisiko-Management**» wurde im Rahmen des Projekt CCESO in enger Zusammenarbeit mit Forschenden der Klimawissenschaften und Umweltpolitik entwickelt. Ausgangspunkt für die Entwicklung eines solchen Modells war, dass bei den Untersuchungen im Rahmen des Projekts CCESO auf allen Bildungsstufen festgestellt wurde, dass das Thema Klimapolitik für Lehrpersonen sowie Schüler- und Schülerinnen schwierig fassbar ist und in den Lehrmitteln vorwiegend einzelne Massnahmen eher zufällig und beliebig erscheinend aufgeführt sind (z.B. weniger Flugreisen und Fleischkonsum). Eine modellhafte Übersicht zu einer ganzheitlich ausgerichteten Klimapolitik fehlte bisher in Lehrmitteln und Fachpublikationen und ist eine der Innovationen des Projekts. Erfahrungen im Unterricht mit diesem Modell zeigen, dass klimapolitische Massnahmen nicht mehr lose, beliebig und teilweise auch ratlos von Schüler- und Schülerinnen aufgenommen werden, sondern es den Lernenden besser gelingt:

- eigenständig zu denken über eine klimaverträgliche Zukunft und dabei Wechselwirkungen zu gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedürfnissen sowie zu Belastbarkeitsgrenzen des Klimasystems einzubeziehen.
- verschiedenste Wechselwirkungen zwischen Ursachen und Folgen des Klimawandels, nachhaltiger Entwicklung sowie eigenen Handlungsoptionen auf verschiedenen Ebenen herzustellen (Systemwissen, Zielwissen und Transformationswissen).
- zu verstehen, dass der Umgang mit solchen Herausforderungen den Einbezug verschiedener Akteure auf verschiedenen Ebenen verlangt und eine Aushandlung von Massnahmen stattfinden muss unter Einbezug unterschiedlicher Interessen, Synergien, Zielkonflikte und Lösungswege.
- die Bedeutung verschiedener Umsetzungsebenen (gesellschaftlich, räumlich, sektoriel und strategisch) bei der Gestaltung einer nachhaltigen Entwicklung nachzuvollziehen und bei eigenen Überlegungen zu Handlungsoptionen einzubeziehen.

Für die **Erarbeitung von Kapitel 5** bietet sich folgender Ablauf an:

- Die in Kapitel 1 zusammengestellten **Schülervorstellungen zu den Massnahmen des Klimawandels** (Kapitel 1, Fragen e bis g) geordnet nach Massnahmen der Minderung und Anpassung sowie nach globaler, nationaler und individueller Ebene (vgl. Abb. 3) können Ausgangs- und Bezugspunkt während der Erarbeitung des gesamten Kapitels 5 sein. Ziel ist es, diese Vorstellungen mit dem aktuellen Fachwissen zu überprüfen, differenzieren und anzureichern.
- In den Kapitel 5.1 und 5.2 geht es darum das **Modell «Integrales Klimarisiko-Management»** mit Hilfe des Textes, der Grafiken, und der Medien zu verstehen sowie zu erkennen, dass dieses Modell eine eigenständige **Analyse der Klimapolitik** eines Staates (z.B. Lernaufgabe 2), einer Gemeinde oder eines Individuums (Lernaufgabe 1) unterstützt.
Das Modell «Integrales Klimarisiko-Management» kann im Unterricht auch helfen, Vorschläge von Lernenden oder Medienbeiträge zu klimapolitischen Massnahmen einzuordnen und umfassend und integral zu verstehen.

5.2 Links zu Fachliteratur und weiterführenden Informationen

ProClim-Broschüre «Klima- und Energiepolitik» (2018):

<https://naturissenschaften.ch/uuid/6bd349e7-29d4-596f-9932->

[a223713a42a9?r=20181129105710_1544718116_3537fd50-eb87-54d3-b67e-efe372a59f22](https://naturissenschaften.ch/uuid/6bd349e7-29d4-596f-9932-a223713a42a9?r=20181129105710_1544718116_3537fd50-eb87-54d3-b67e-efe372a59f22) (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Website BAFU: «Klimapolitische Massnahmen»:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimapolitik.html> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

IPCC-Synthesebericht (2014): Kapitel 3 «Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung» (S. 79 – 97) und Kapitel 4 «Anpassung und Minderung» (S. 99 – 120):

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf (zuletzt besucht am 29.8.2019)

Brennpunkt Klima Schweiz (2018):

Szenarien zukünftiger Treibhausgasemissionen (S. 38/39), Massnahmen des Bundes zu Anpassung an den Klimawandel (S. 144 – 147), Minderung (S. 148 – 189), Klimapolitik (S. 190 – 209)

Website SCNAT zu «Instrumente für eine wirksame und effiziente Klima- und Energiepolitik»:

<https://naturalsciences.ch/organisations/proclim/current/publications/119802-instrumente-fur-eine-wirksame-und-effiziente-klima--und-energiepolitik>

5.3 Links zu Medien

SRF1 Tagesschau 13.11.2018: Hitzesommer werden keine Seltenheit mehr sein (4:05 Minuten)

Bem: evtl. nur 2:16 - 4:05 Minuten zu Tourismus im Alpenraum)

<https://www.srf.ch/sendungen/tagesschau/hitzesommer-europas-zukunft-kampf-gegen-computerviren>

(zuletzt besucht am 30.8.2019)

MeteoSchweiz 12.11.2018: Klimaszenarien CH2018 (2:07 Minuten)

<https://vimeo.com/300226805/61b8ba264d> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Bundeszentrale für politische Bildung, Global Ideas (2012): Wie funktioniert der CO₂-Handel? (1:53 Minuten)

<http://www.bpb.de/mediathek/179356/wie-funktioniert-der-co2-handel> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

-Bundeszentrale für politische Bildung, Global Ideas (2013): Wie klimaschädlich sind fliegende Lebensmittel? Wie klimaschädlich sind fliegende Lebensmittel? (2:16 Minuten)

<http://www.bpb.de/mediathek/179225/wie-klimaschaedlich-sind-fliegende-lebensmittel> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

5.4 Lösungsvorschläge und Hinweise zu den Lernaufgaben

Lernaufgabe 1

- Überprüfen und differenzieren Sie Ihre zusammengestellten Massnahmen aus Aufgabe 1e, f und g (Kapitel 1) zur Minderung des Klimawandels und zur Anpassung an den Klimawandel mit Hilfe der Abbildung 5.1 und 5.2.

Individuell

- Klären Sie allfällige Verständnisschwierigkeiten oder Unklarheiten zur Wirkungsweise einzelner Massnahmen anhand der wissenschaftlichen Fachliteratur.

Individuell

Lernaufgabe 2

- a) Wie ist es möglich, dass Flüge nach Palma de Mallorca für 29 CHF erhältlich sind, obwohl Flugzeuge hohe klimabedingte Schadenskosten verursachen? Stellen Sie mögliche Gründe zusammen.

Der Preis für das Flugticket wird zwar bezahlt, darin enthalten sind aber nicht die Kosten für die Klimaauswirkungen (als Folge von CO₂-Emmissionen). Diese ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Kosten werden nicht vom Verursacher (hier Fluggesellschaft, Passagiere) bezahlt, sondern von der Allgemeinheit und der Umwelt getragen und daher als externe Kosten bezeichnet. Dazu kommt, dass Flugtickets (in der Schweiz) keiner Mehrwertsteuer unterliegen, dass die Fluggesellschaften auf Kerosin keine Steuern bezahlen müssen und Flughäfen staatlich gefördert werden.

- b) Stellen Sie zu jeder der vier Umsetzungsebenen (Abb. 5.3) konkrete Beispiele von Massnahmen für eine klimaverträgliche Zukunft zusammen (Medien 1 bis 5).

Individuum:

- Mobilität (Langsamverkehr, MIV, ÖV)
- Ernährung
- ...

Gesellschaft lokale Ebene:

- Lokale Agenda 21 auf Gemeindeebene,
- Städte: Grünflächen schaffen (Schatten, Verdunstung, Abkühlung), Entsiegelung von asphaltierten Flächen (Versickerung, Verdunstung, Abkühlung), klimaangepasste Pflanzen
- ...

Gesellschaft regionale Ebene:

- Gebäudeprogramme auf Kantonaler Ebene
- gezielte Informationen bei Hitzephasen
- Trockenheit und Landwirtschaft: Risikogebiete bei Trockenheit bestimmen und gezielte präventive Massnahmen treffen
- Naturgefahren: Integrales Risikomanagement für Naturgefahren, Monitoring der Naturgefahren
- Artenvielfalt: Monitoring der Fauna und Flora, invasive Arten beobachten und bei Gesundheitsrisiken Massnahmen treffen
- Sensibilisierung in Bildung, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zum Thema Klimawandel
- ...

Gesellschaft nationale Ebene:

- CO₂-Gesetz
- CO₂-Abgabe
- Klimaziele bis 2030 des Bundesrates
- ...

Gesellschaft internationale Ebene:

- internationale Klimaabkommen (z.B. Paris 2015)

Lernaufgabe 3

- a) Klimapolitik der Schweiz
Ordnen Sie die klimapolitischen Massnahmen der Schweiz den Aspekten eines integralen Klimamanagements zu (Abb. 5.2) und beurteilen Sie anschliessend die Schweizerische Klimapolitik (Grundlagen: Medien 6 bis 11).

Monitoring:

- Klimabeobachtungssystem Schweiz GCOS Schweiz

- Monitoring der Massnahmen: z.B. Wirkung des Gebäudeprogramms, der CO₂-Abgabe auf Brennstoffe

Nachhaltige Entwicklungsprojekte:

- vgl. unter Massnahmen der Minderung und Anpassung, beispielsweise Klimaprogramm Bildung und Kommunikation, Gebäudeprogramm, Kompensation von CO₂-Emissionen, Raumkonzept Schweiz, Technologiefonds.

Umsetzungsebenen:

- Individuum: autarkes Wohnen, Suffizienz und Konsistenz im Alltag
- Gesellschaft lokale Ebene: lokale Agenda 21 auf Gemeindeebene
- Gesellschaft regionale Ebene: Gebäudeprogramm auf Kantonaler Ebene, Kläranlagen mit Solardach (Technologiefonds)
- Gesellschaft nationale Ebene: Förderung erneuerbarer Energien durch den Bund (Energiestrategie 2050), CO₂-Abgabe (Lenkungsabgabe)
- Gesellschaft internationale Ebene: Klimaabkommen von Paris

Massnahmen der Minderung und Anpassung:

a) Freiwilligen Massnahmen:

- Das Umweltschutzgesetz und das CO₂-Gesetz ermöglichen es dem Bund, Vereinbarungen mit Wirtschaftszweigen abzuschliessen. Sie enthalten zum Beispiel mengenmässige Reduktionsziele von Schadstoffen oder Klimagasen und definieren Grundsätze der effizienten Verwendung, der Wiederverwendung eines Schadstoffs (good practice), der Entsorgung oder des Einsatzes neuer Technologien.

b) Juristische Massnahmen:

- Analog zur EU gelten in der Schweiz CO₂-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen: Seit 2015 darf die Neuwagenflotte im Durchschnitt höchstens 130 Gramm CO₂ pro Kilometer ausstossen. Ab 2020 gilt für Personenwagen ein Zielwert von 95 Gramm CO₂ pro Kilometer. Zusätzlich werden CO₂-Emissionsvorschriften für Lieferwagen und leichte Sattelschlepper eingeführt. Sie müssen einen Zielwert von durchschnittlich 147 Gramm CO₂ pro Kilometer einhalten.
- Klimaprogramm Bildung und Kommunikation: Um die Wirkung der anderen gesetzlichen Massnahmen zu erhöhen und den freiwilligen Klimaschutz zu fördern, sieht das CO₂-Gesetz auch Massnahmen in der Kommunikation und bei der Bildung und Beratung vor.

c) Politische Massnahmen:

- Der Gebäudesektor spielt in der Klimapolitik der Schweiz eine wichtige Rolle. Der Sektor verursacht ca. ein Drittel der Schweizer CO₂-Emissionen. Hier setzen kantonale Gebäudestandards und das Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen an. Bis 2020 sollen die CO₂-Emissionen aus Gebäuden um mindestens 40 % unter das Niveau von 1990 sinken..
- Technologiefonds des Bundes (vgl. technische Massnahmen)
- Sowohl die Importeure von Treibstoff wie auch die Betreiber von fossil-thermischen Kraftwerken sind zur Kompensation von CO₂-Emissionen verpflichtet. Mit Inkrafttreten des revidierten CO₂-Gesetzes am 1. Januar 2013 endet die Phase der Freiwilligkeit in der schweizerischen Klimapolitik. Neu werden die Inverkehrbringer fossiler Treibstoffe gesetzlich verpflichtet, einen Prozentsatz der mit deren Nutzung einhergehenden CO₂-Emissionen zu kompensieren. Im Sinne einer Kompensationsgemeinschaft hat die Erdöl-Vereinigung per 1. Januar 2013 die Stiftung «Klimaschutz und CO₂-Kompensation (KliK)» gegründet. Damit steht den Inverkehrbringern fossiler Treibstoffe eine spezialisierte Dienstleistungsplattform zur Verfügung, die ihnen die Erfüllung der Kompensationspflicht abnimmt. Die Stiftung investiert die ihr zufließenden Mittel entsprechend den im CO₂-Gesetz vorgegebenen Richtlinien in nachweislich wirksame Kompensationsprojekte in der Schweiz.

d) Raumplanerische Massnahmen:

- Das Raumkonzept Schweiz will mit den drei Zielen Verdichtung und Durchmischung und Lebensqualität erreichen, dass in der Schweiz weniger Boden verbaut wird und mit kürzeren Wegen zwischen den Daseinsgrundbedürfnissen Wohnen, Arbeiten, Versorgen und Erholen der Verkehr vermindert und damit der Energieverbrauch gesenkt wird.

e) Marktwirtschaftliche Massnahmen:

- Ein zentrales Instrument zur Erreichung der gesetzlichen Klimaschutzziele in der Schweiz ist die CO₂-Abgabe. Sie ist eine Lenkungsabgabe und wird seit 2008 auf fossilen Brennstoffen wie Heizöl oder Erdgas erhoben. Damit verteutert sie die fossilen Brennstoffe und setzt so Anreize zum sparsamen Verbrauch und

zum vermehrten Einsatz CO₂-neutraler oder CO₂-ärmer Energieträger. Jährlich werden rund zwei Dritteln der Abgabeverträge verbrauchsunabhängig an Bevölkerung und Wirtschaft zurückverteilt. Ein Drittel (max. CHF 450 Mio.) fließt in das Gebäudeprogramm zur Förderung CO₂-wirksamer Massnahmen wie z.B. energetischer Sanierungen oder erneuerbarer Energien. Weitere CHF 25 Mio. kommen dem Technologiefonds zu. CO₂-intensive Unternehmen können sich von der Abgabe befreien lassen, wenn sie sich im Gegenzug zu einer Emissionsverminderung verpflichten. Große CO₂-intensive Unternehmen nehmen am Emissionshandelssystem teil und sind ebenfalls von der CO₂-Abgabe befreit. Die CO₂-Abgabe wird auf alle fossilen Brennstoffe (z.B. Heizöl, Erdgas) erhoben. Sie beträgt seit ab 2018 96 Franken pro Tonne CO₂. Die CO₂-Abgabe ist auf den Rechnungen für Brennstoffkäufe ausgewiesen. Rund zwei Dritteln der Erträge aus der CO₂-Abgabe werden an die Bevölkerung und die Wirtschaft über die Krankenversicherer und die AHV-Ausgleichskassen zurückverteilt.

- Der Emissionshandel ermöglicht es, Emissionen da zu reduzieren, wo die Kosten tief liegen. So lassen sich Klimaschutzziele kostengünstig erreichen. Mit Emissionsrechten handeln insbesondere Unternehmen und spezialisierte Händler. Mit Hilfe der flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls können sich Industrieländer und Unternehmen auch im Ausland erbrachte Reduktionsleistungen an ihre Emissionsziele anrechnen.
- In der Schweiz wird Arbeit und Kapital und nicht der Energieverbrauch besteuert. Eine solche ökologische Steuerreform würde Anreize für eine erhöhte Energieeffizienz schaffen.

f) Technische Massnahmen:

- Mit einem Technologiefonds fördert der Bund Innovationen, die Treibhausgase oder den Ressourcenverbrauch reduzieren, den Einsatz erneuerbarer Energien begünstigen und die Energieeffizienz erhöhen. Bürgschaften erleichtern es innovativen Unternehmen, Darlehen aufzunehmen.

- b) Stellen Sie Argumente für Massnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen im Inland und Ausland zusammen (Grundlagen: Medien 6 und 11).

Inland:

- Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern im Ausland und Stärkung einheimischer Energieträger
- Wertschöpfung, Innovation und Investitionen bleiben im Inland (z.B. neue Arbeitsplätze)
- Langfristig müssen alle Staaten der Welt klimaneutral werden, d.h. früher oder später braucht es Minderung im Inland und ausländische Emissionsminderungen werden zunehmend teurer
- Gefahr, dass ausländische Kompensationsprojekte auch ohne die Investitionen aus Kompensations-Zertifikaten realisiert würden und somit keine wirklich neuen Projekte entstehen
- Effekt von Minderungsmassnahmen im Ausland ist schwierig zu kontrollieren und daher anfällig für Missbrauch
- Projekte im Ausland könnten doppelt kompensiert und der Endeffekt neutralisiert werden, d.h. einmal über den Verkauf von Zertifikaten (z.B. Schweiz) und einmal durch den jeweiligen Staat selbst, in welchem das Projekt realisiert wird (z.B. Brasilien)
- Die Schweiz hat aufgrund ihrer grossen technischen und finanziellen Möglichkeiten eine Verantwortung als Vorbild, eine Verlagerung der Minderungsmassnahmen wäre ein problematisches Signal

Ausland:

- Dem Klima ist es egal, wo CO₂ ausgestossen und entsprechend eingespart wird
- Minderung im Ausland aktuell günstiger als in der Schweiz, d.h. für das gleiche Geld kriegt man mehr Minderungspotenzial
- Graue Emissionen der Schweiz entstehen im Ausland und sollen auch dort kompensiert werden

6 Synthese

6.1 Hinweise zur Umsetzung

Ziel des Kapitels 6 ist es, dass zum Thema Klimawandel in der Stadt sämtliche Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapitel an einem für die Lernenden bekannten Raum angewendet werden können (Transfer, Synthese) sowie die herausragende Stellung der Stadt bezüglich den Ursachen aber auch den Folgen des Klimawandels deutlich wird.

Einerseits sind Städte Dreh- und Angelpunkt für die Produktion von Gütern und Dienstleistungen sowie Wohn- und Arbeitsort eines Grossteils der Bevölkerung (CH: 83% der Bevölkerung leben in Räumen mit städtischem Charakter), wodurch der Energieverbrauch und damit die Treibhausgasemissionen markant höher sind als in ländlichen, dünnbesiedelten Gebieten. Auf der anderen Seite sind sie aufgrund der Ballung von Menschen, Infrastruktur und weiteren materiellen Werten gegenüber den Folgen des Klimawandels besonders exponiert, was sich durch die lokalklimatischen Eigenschaften von urbanen Räumen teilweise noch verstärkt (z.B. städtischer Wärmeinsel-Effekt). Die damit verbundenen Herausforderungen, Wechselwirkungen und Prozesse auf unterschiedlichen Massstabsebenen stehen im Zentrum dieses Kapitels.

Für die **Erarbeitung von Kapitel 6** bietet sich folgender Ablauf an:

- Als **Ausgangs- und Bezugspunkt** bei der Erarbeitung in diesem Kapitel können die im Laufe der Lerngelegenheit erarbeiteten Kenntnisse und angereicherten Vorstellungen dienen. In einer Gruppen- oder Plenumsdiskussion, können diese z.B. mit folgender Leitfrage(n) gesammelt werden: «Weshalb werden Städte auch «Brennpunkte des Klimawandels» genannt? Was könnte diese Aussage für unsere, resp. die nächstgelegene Stadt bedeuten?»
- Basierend auf den erarbeiteten Kenntnissen zu Ursachen und Folgen des Klimawandels sowie zum Klimasystem dienen die darauffolgenden Lernaufgaben dazu, die **Schlüsselrolle von Städten in Bezug auf den Klimawandel** herzuleiten und Bezüge zur direkten Lebenswelt vieler Lernenden zu schaffen. Die **ambivalente Rolle urbaner Gebiete** als Hauptverursacher einerseits und deren überproportionale Empfindlichkeit gegenüber den Folgen auf der anderen Seite soll die in städtischen Räumen auftretenden Herausforderungen bzw. Chancen exemplarisch und realitätsnah verdeutlichen.
- Die Lernaufgaben zum Phänomen **Hitzeinsel Stadt** thematisieren eine zentrale Problemstellung urbaner Gebiete im Umgang mit dem Klimawandel, deren Bewältigung aus Perspektive des integralen Klimalrisiko-Managements analysiert, beurteilt und diskutiert wird. Die differenzierte **Auseinandersetzung mit Zielkonflikten und Synergien** zwischen klimapolitischen Massnahmen und Strategien der Verkehrs- und Siedlungsentwicklung ist dabei von besonderer Bedeutung.

Um eine möglichst realitäts- und alltagsnahe Behandlung der Thematik im Unterricht zu ermöglichen, bietet sich die **Schaffung und Thematisierung von lokalen/regionalen Unterrichtsbezügen** zu einem vertrauten, städtischen Raum an (z.B. Fokussierung auf spezifischen öffentlichen Platz oder das Schulgelände).

6.2 Links zu Fachliteratur und weiterführenden Informationen

Brennpunkt Klima Schweiz (2016):

- Risiken für urbane Gebiete der Schweiz und deren Infrastruktur (S. 122-125)
- Wärmeinsel-Effekt und Anpassungsprojekte (S. 126-128)
- Hitzewellen und Gesundheit (S. 132-135)

Broschüre «Klimawandel: was er für Städte bedeutet» (digital oder gedruckt)
(- Abb. 2.1 und 2.2 «Klimasystem», Kapitel 2)
(- Abb. 5.2: «Integrales Klimalrisiko-Management», Kapitel 5)

6.3 Links zu Medien

Broschüre «Klimawandel: Was er für Städte bedeutet»:

<https://www.klimafakten.de/sites/default/files/images/reports/printversion/klimawandelundstaedte.pdf> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Bund-Artikel zu Stadthitze in Bern (3.8.2018): <https://www.derbund.ch/bern/nachrichten/Kies-statt-Asphalt-gegen-Hitzestress/story/30743895> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

SRF Input-Sendung «Wie sich Schweizer Städte für den Klimawandel wappnen» (3.12.2017): <https://m.srf.ch/sendungen/input/wie-sich-schweizer-staedte-fuer-den-klimawandel-wappnen> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

BAFU Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/anpassung-an-den-klimawandel/pilotprogramm-anpassung-an-den-klimawandel.html> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

6.4 Lösungsvorschläge und Hinweise zu den Lernaufgaben

Lernaufgabe 1

- Die Folgen des Klimawandels stellen Städte und ihre Bewohner vor grosse Herausforderungen. Inwiefern wirkt sich der Klimawandel überhaupt auf eine Stadt sowie auf das Leben darin aus? Tragen Sie erwartete Folgen des Klimawandels für städtische Gebiete mit Hilfe der Sphären des Klimasystems (vgl. Kap. 2) zusammen.
- Überprüfen und ergänzen Sie Ihre Überlegungen mit Hilfe der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der Broschüre «Klimawandel: Was er für Städte bedeutet».

Lösungsvorschläge zu Aufgaben a) und b):

Atmosphäre:

Erwärmung und zusätzliche Verstärkung von Hitzeextremen (z.B. Hitzewellen, Hitzetage, Tropennächte) durch städtischen Wärmeinsel-Effekt, höhere Ozonkonzentration, zunehmende Trockenperioden, Starkniederschläge, Extremwetterereignisse allgemein (z.B. stärkere Stürme), Abnahme von tiefen Temperaturextremen, weniger Niederschlag in Form von Schnee, etc.

Biosphäre:

Hitze- und Trockenstress für Bäume, Grünflächen und Stadttiere, Schäden an Vegetation durch andere Extremereignisse (Überschwemmungen, Stürme), invasive Neophyten (durch neue klimatische Nischen), Reduktion oder Anstieg der Biodiversität (je nach ökologischen Nischen), Fischsterben durch Hitzestress und Sauerstoffmangel in Gewässern (Städte oft an Flüssen), etc.

Hydrosphäre:

Überschwemmungen und Überflutungen durch Starkniederschlag (hoher Versiegelungsgrad führt zu mehr Oberflächenabfluss) und Anstieg von Flusspegeln, Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten (Städte in Küstennähe), Austrocknung von Gewässern, Absenkung Grundwasserspiegel, Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität, etc.

Kryosphäre:

Rückgang Schneefälle und Glatteis, Auftauen Permafrost (in hohen Breiten), geringere Eisbedeckung auf Flüssen und Seen, etc.

Pedo- und Lithosphäre (für Letztere kaum Folgen):

Zunahme Bodenerosion und Sturzereignisse durch Starkniederschlag und Extremwetterereignisse (v.a. bei komplexer Topographie), Zunahme von Geschiebematerial in Flüssen, Küstenerosion und Landverlust, etc.

Anthroposphäre:

Beschädigung an Infrastruktur (z.B. Verformung Geleise), tieferer/höherer Energieverbrauch (Heizen vs. Kühlen), Stromausfälle, Kosten für Pflege von Grünflächen (Pflanzenschäden, Bewässerung), Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität, Ernährungsunsicherheit, Hitzestress für Bewohner (Gesundheitsrisiko), Infektionskrankheiten (verdorbene Nahrungsmittel, neue Vektorkrankheiten), Ozonbelastung, wirtschaftliche Einbussen durch geringere Arbeitsleistung (z.B. Bau), Kosten für versch. Anpassungsmassnahmen (z.B. zur Hitzereduktion, Gesundheitsweisen), mehr Verkehrs- und Arbeitsunfälle während Hitzewellen, weniger Verkehrsunfälle im Winter (weniger Schnee und Eis), tiefere Kosten für Winterdienst, etc.

Lernaufgabe 2

- a) Weshalb spielen Städte in Bezug auf den Klimawandel eine besondere Rolle? Argumentieren Sie sowohl aus Sicht der Folgen, als auch aus Sicht der Ursachen.

Ursachen:

Der Anteil der Stadtbevölkerung nimmt weltweit zu (bis 2050 64% der Weltbevölkerung in Städten) und durch Konzentration Produktion von Gütern und Dienstleistungen sind Städte global für 37-49% der THG-Emissionen verantwortlich. Städte verbrauchen etwa 70 Prozent der weltweiten Energie. Entsprechend gross ist das Minderungspotential.

Folgen:

Bis 2050 leben 64% der Weltbevölkerung in Städten (Zuwachs v.a. Afrika und Asien), was zu einer Konzentration von Menschen, Eigentum und Infrastruktur (Wirtschafts- und Handelszentren) auf kleinem Raum führt. Durch die Verstärkung der Folgen des Klimawandels in urbanen Gebieten (z.B. Hitze oder Überflutungsfahr) sind Städte besonders empfindlich und auf Anpassungsmassnahmen angewiesen.

(Massnahmen:

Städte besitzen grosses Klimaschutspotential durch Verbesserungen im Energiebereich, beispielsweise bei Gebäuden, Infrastruktur und Landnutzung (Emissionsreduktion von 20 bis 50% bis 2050 möglich). Dadurch ergeben sich vielzählige Synergien zwischen einzelnen Massnahmen sowie zu den Zielbereichen der Nachhaltigen Entwicklung. So führt eine bessere Isolation von Gebäuden beispielsweise nicht nur zu einem reduzierten Energieverbrauch und damit weniger Emissionen (Mitigation), sondern sorgt auch für eine verminderte Hitzebelastung in den Innenräumen während Hitzewellen (Adaption).)

- b) Entwickeln Sie zu zweit Erklärungsansätze für das Phänomen «Hitzeinsel Stadt» in Abbildung 6.1. Überprüfen Sie Ihre Vermutungen mit Hilfe des Zeitungsartikels zum Thema Stadthitze.

Die grundlegende Ursache ist die Veränderung der Energiebilanz durch Bebauung, Versiegelung, anthropogene Wärme und verminderte Durchlüftung. Dabei spielen insbesondere die folgenden Prozesse und Faktoren eine zentrale Rolle (vgl. Abb. 7):

- Hohe Absorption von Sonnenstrahlung durch dunkle Materialien (Beton, Asphalt, Dachziegel) und insgesamt grössere Absorptionsoberfläche durch Gebäude (Wände, Dach)
- Speicherung der Sonnenstrahlung tagsüber und verzögerte Wärmeabgabe im Laufe der Nacht durch erhöhte Wärmespeicherfähigkeit von Baumaterialien
- Gebäude schränken den Horizont ein (z.B. in Strassenschluchten) und verhindern damit effiziente Abstrahlung der langwelligen Wärmestrahlung in alle Richtungen («Strahlenfalle»)
- Fehlende Grünflächen reduzieren Evapotranspiration (Kühlwirkung durch Verdunstung und Transpiration von Vegetation fehlt)
- Dichte und hochreichende Bebauung beeinträchtigt lokal-regionale Windströmungen und damit die natürliche Kühlung durch Flurwinde
- Versiegelte Oberflächen verhindern Evaporation und damit die Verdunstungskühlung (Austausch von Wasserdampf zwischen Boden und Atmosphäre reduziert), zudem ist die Versickerung von Wasser bei Niederschlagsereignissen eingeschränkt
- Abwärme durch Verkehr, Industrie und Gebäudekühlung fungiert als zusätzliche, anthropogene Wärmequelle

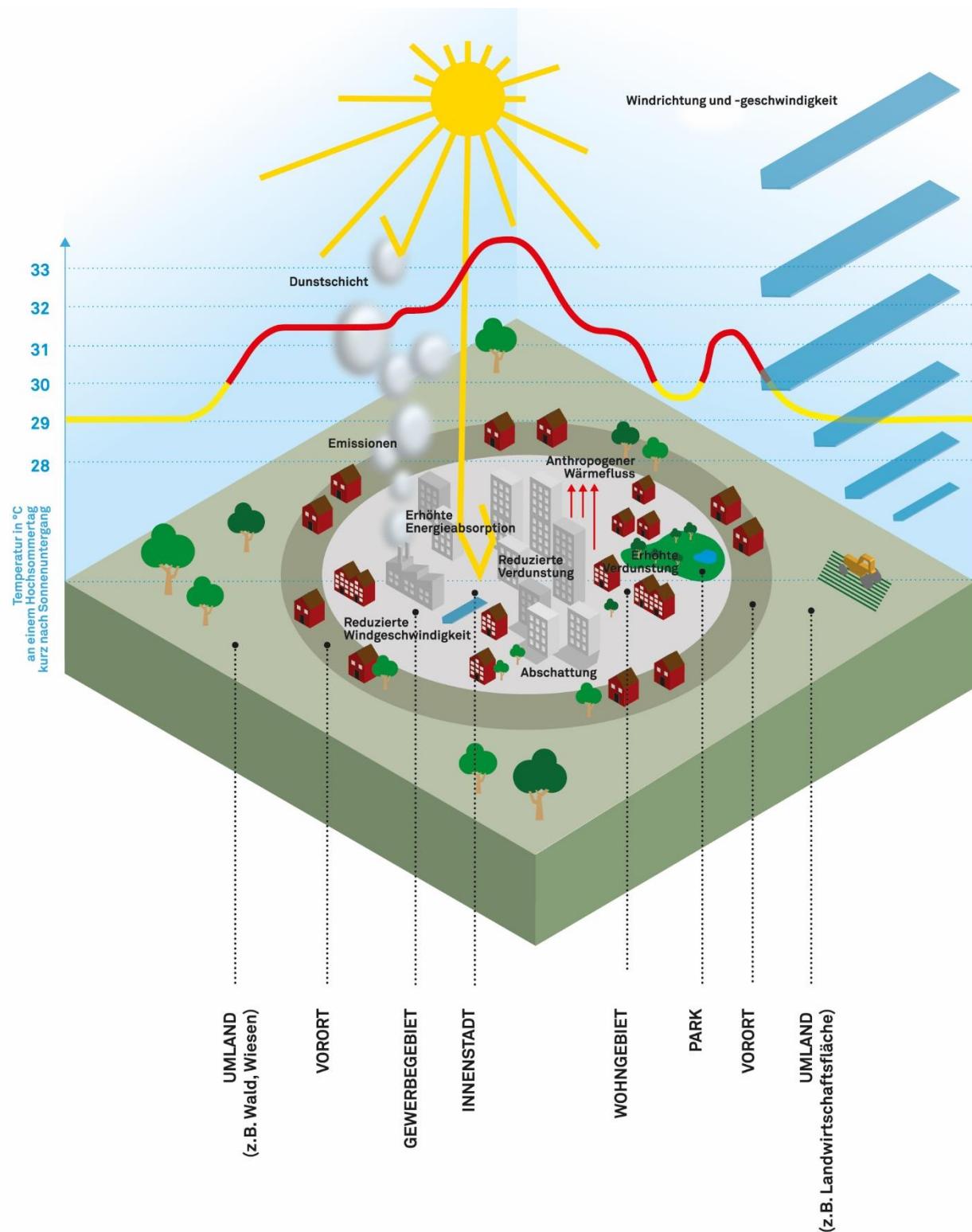


Abb. 7: Ursachen des städtischen Wärmeinsel-Effekts, erweiterte Darstellung (Projekt CCESO, 2019)

Lernaufgabe 3

- a) Wie kann dem Problem der städtischen Hitzebelastung in Ihrer Stadt entgegengewirkt werden? Erstellen Sie mit Hilfe der Fachliteratur in Gruppen ein Mind-Map zu möglichen Massnahmen auf verschiedenen Umsetzungsebenen im Sinne einer integralen Klimapolitik (vgl. Abb. 5.2, Kapitel 5.1).

Bei dieser Aufgabe bietet sich die Fokussierung auf einen konkreten Ort im Nahraum an (z.B. öffentlicher Platz, Schulhof). Entsprechende Massnahmen könnten beispielsweise wie folgt geordnet bzw. strukturiert werden:

Anpassung (lokal-regional; Gesellschaft, Wirtschaft, Politik, Forschung):

- Hellere Oberfläche erhöhen die Reflexion von Sonnenstrahlung und reduzieren die Absorption und Emission von Wärme, z.B. durch Einfärben von Plätzen, Straßen, Dächern („mehr Weiss“)
- Erhaltung und Schaffung von Grünflächen wie (Stadt-)Parks, Bäume und Schrebergärten fungieren als Entstehungszonen für Kaltluft und durch die Verdunstung sowie Transpiration von Wasser wird oberflächennahe Luftschicht gekühlt („mehr Grün“)
- Schaffung von Wasserflächen, wie z.B. Springbrunnen, Teiche, Öffnung von Stadtbächen erhöht die Verdunstungskühlung („mehr Blau“)
- Bei Neu- und Umbauten sollen Durchlüftungsschneisen im Hinblick auf grossräumigere Windsysteme freigehalten werden (langfristige, klimaangepasste Siedlungsplanung)
- Effiziente Gebäudeisolierung sorgt für Kühlung im Sommer und Isolation im Winter (Synergien mit Minderung durch reduzierten Energieverbrauch)
- Architektur mit weniger Glas, Metall und Beton reduziert die Absorption von Sonnenstrahlung und fördert ein kühles Innenraumklima („weniger Grau“)
- Dach- und Fassadenbegrünung sorgen dafür, dass sich Gebäude und Oberflächen weniger aufheizen und besser isoliert sind
- Förderung von ÖV, Fussgängerzonen und Velowegen reduziert die Abwärme aus motorisiertem Individualverkehr (Synergien mit Minderung durch reduzierte Treibhausgasemissionen)
- Entsiegelung von Flächen ermöglicht Versickerung von Niederschlag und nachfolgende Verdunstungskühlung (z.B. Parkplätze aus Kies und/oder Rasengittern)
- Temporäre Abschattung auf öffentlichen Plätzen während Sommermonate fördert die Aufenthaltsqualität (z.B. Bäume in Kübeln, Sonnensegel, temporäre Rasenflächen)
- Urban Gardening fördert die Abschattung und Verdunstungskühlung (Synergien mit Mitigation durch reduzierte Transportwege)
- Öffentliche Wasserstellen ermöglichen den Zugang zu Trinkwasser und leisten damit einen Beitrag zur Flüssigkeitsversorgung der Bevölkerung

Monitoring (lokal-regional):

- Analyse der Hitzebelastung durch Modellierungen (z.B. Klimaanalyse Kanton Zürich) erlauben die Identifikation von Hotspots oder Kaltluftentstehungszonen und dienen der Überprüfung von ergriffenen Anpassungsmassnahmen
- Messungen der Hitzebelastung mit Datenübermittlung in Echtzeit ermöglichen die zeitnahe Ergreifung von Sofort-Massnahmen (z.B. Betreuung älterer Menschen, Wasserversorgung)

Synergien und Trade-Offs (am Beispiel von Parks, urbanen Gärten und Grünflächen):

Synergien sind beispielsweise die Förderung der sozialen Durchmischung, Schaffung von Arbeitsplätzen, erhöhte Biodiversität, Verkürzung der Transportwege für Nahrungsmittel, höhere Lebensqualität.

Trade-offs zeigen sich hingegen bezüglich hohen Kosten (z.B. für Implementierung der Massnahmen oder Unterhalt wie Bewässerung und Pflege), allfälligen Widersprüche zu raumplanerischen Problemstellungen (z.B. Verdichtung nach innen), unterschiedlichen Nutzungsansprüche, langen Planungs- und Implementierungshorizonte, etc.

- b) Vergleichen und diskutieren Sie Ihre Ergebnisse mit der Klasse.

individuell

I) ANHANG: Allgemeine Materialien, Medien und Links

Bilder zum Klimawandel

- Climate Science Visuals (ETHZ): <https://vimeo.com/climatesciencevisuals> (zuletzt besucht am 30.8.2019)
- Climate Visuals: <https://www.climatevisuals.org/images> (zuletzt besucht am 30.8.2019)
- <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kategorie:Bildergalerien> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Filme zum Klimawandel

Klimageschichte (natürliche und anthropogene Einflüsse und deren Auswirkungen):

<https://www.srf.ch/sendungen/myschool/klima-macht-geschichte-1-2> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

<https://www.srf.ch/sendungen/myschool/klima-macht-geschichte-2-2> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Treibhauseffekt:

<https://www.srf.ch/sendungen/myschool/was-hat-der-treibhauseffekt-mit-dem-klimawandel-zu-tun> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Klimasystem (Auswirkungen des Klimawandels auf die Klimasysteme):

<https://www.srf.ch/sendungen/myschool/erde-in-not-system-erde-1-2> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

<https://www.srf.ch/sendungen/myschool/erde-in-not-faktor-mensch-2-2> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Bergwelt Schweiz: Aletschgletscher – Das grosse Schmelzen (1/5):

<https://www.srf.ch/play/tv/srf-myschool/video/bergwelt-schweiz-aletschgletscher---das-grosse-schmelzen-15?id=018d899d-47e9-4a6d-b310-fa1f5efb878a> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Die Kosten des Klimawandels für die Schweiz:

<https://www.srf.ch/news/wirtschaft/die-kosten-des-klimawandels-steigende-temperaturen-koennten-die-schweiz-10-milliarden-kosten> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Radiosendungen zum Klimawandel

Klimawandel könnte Demokratien gefährden:

<https://www.srf.ch/play/radio/echo-der-zeit/audio/klimawandel-koennte-demokratien-gefaehrden?id=9159d090-881e-4146-b8c1-6ef1e68fc6ae> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Australien – Kampf ums Wasser:

<https://www.srf.ch/play/radio/echo-der-zeit/audio/australien---kampf-ums-wasser?id=a9e0d8f5-5771-4169-9385-bcd8ea7033ab> (zuletzt besucht am 30.8.2019)

Die Klimapolitik hat versagt:

<https://www.srf.ch/news/schweiz/klimawandel-stoppen-die-klimapolitik-hat-versagt> (zuletzt besucht am 30.8.2019)